

ELIMINAÇÃO DE MERCÚRIO EM CONCENTRADOS DE SULFURETOS DE COBRE

MIGUEL DE BARROS LIMA MOREIRA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA DE MINAS E GEO-AMBIENTE

Orientadora: Professora Doutora Aurora Magalhães Futuro da Silva

Co-Orientador: Professor Doutor António Manuel Antunes Fiúza

NOVEMBRO DE 2012

Mestrado em Engenharia de Minas e Geo-Ambiente 2011/2012

Departamento de Engenharia de Minas

Tel. +351-22-508 1986

Fax +351-22-508 1448

✉ minas@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Engenharia de Minas e Geo-Ambiente - 2011/2012- Departamento de Engenharia de Minas, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho representa o culminar de vários anos de estudos, ao longo dos quais, muitas pessoas cruzaram os seus caminhos com o meu. Todas elas contribuíram, de certa forma, para aquilo que eu sou. Ainda assim, existiram pessoas cujo papel na minha vida tem muito significado.

Aproveito esta secção para deixar os meus agradecimentos à minha orientadora, Professora Doutora Aurora Futuro ao meu co-orientador, Professor Doutor António Fiúza por todo o apoio que me deram ao longo da execução desta dissertação e ao longo dos anos passados na faculdade.

Aos meus pais por todo o apoio que me deram durante toda a vida e por me terem educado de forma a eu me tornar em quem sou hoje.

À minha namorada, Carina Nunes, que tem imensa importância na minha vida, com quem eu sei que posso contar sempre e me apoiou bastante neste trabalho.

Aos amigos que criei durante o percurso académico. A Ana Silva, o Bernardo Guimarães, o Bruno Costa, a Cheila Pacheco, a Cláudia Ferreira, a Joana Rica, o João Cerdeira, o João Rodrigues, a Juliana Costa, a Margarida Campos, a Patrícia Lourenço, o Paulo Portela, a Raquel Correia e o Tiago Rodrigues. A todos, um grande abraço de obrigado por terem feito parte destes últimos anos que decorreram.

Como a vida não é só a faculdade, fica aqui um grande abraço aos meus amigos de longa data, com quem eu sei que posso contar sempre que precisar. São eles o André Rodrigues, o Artur Pinto, o Bruno Lascasas, o Francisco Magalhães, a Inês Silva, o José Saraiva, o Mário Almeida, o Paulo Amaral, a Sara Queirós e o Vítor Bretes.

Por fim, deixo o meu agradecimento aos professores que me motivaram a chegar até este ponto.

RESUMO

Na exploração mineira, raramente são encontrados elementos desejados sem impurezas. Neste caso em particular, estamos numa situação em que se pretende uma extração de Cobre e Zinco na forma de sulfuretos mas, na qual se encontram sulfuretos de chumbo, mercúrio e outros elementos que serão considerados como penalizantes. O objetivo desta dissertação será a sua remoção, dando principal importância ao mercúrio.

O mercúrio é um metal que, apesar das suas variadas aplicações e utilidades, neste caso em particular, é tomado como um penalizante, sendo necessário remover a maior quantidade possível do mesmo.

Esta dissertação tem como objetivo, o tratamento de um problema real que acontecerá aquando da exploração do jazigo do Lombador, na mina de Neves Corvo

Para a realização deste trabalho experimental, foram-nos cedidas amostras de minério do concentrado de cobre do circuito RC e do concentrado da lavaria de cobre, sobre as quais foram realizados os ensaios experimentais.

Na realização desta dissertação, foram estudados vários métodos de remoção do mercúrio, sendo necessário ter em consideração a granulometria do material uma vez que isso influencia largamente a eficácia do tratamento do minério.

O método adotado para a remoção do mercúrio foi a lixiviação e foram utilizados diferentes reagentes e diferentes condições de operação para determinar quais os parâmetros mais eficazes.

Como seria expectável, deparamo-nos com alguns problemas que não só atrasaram como impossibilitaram alguns ensaios. Não obstante, os imprevistos foram superados e foram úteis na obtenção de algumas conclusões, relacionadas com as condições de operação e o tipo de material utilizado.

ABSTRACT

In the mining industry, rarely are the occasions when we find an element without impurities. In this particular situation, we have an exploration of copper and zinc (CuFeS_2 e ZnS) but we also have lead sulphide, mercury and other elements considered as penalties. The objective of this dissertation will be their removal giving major importance to the mercury.

The mercury is a metal that despite its various applications and utilities, in this particular case, it's considered as a penalty, being necessary to remove its largest quantity as possible.

This dissertation has as its objective, the treatment of a real life problem that will happen during the exploration of the Lombador deposit in the Neves Corvo mine.

We were given samples of the ore from the RC circuit copper concentrate and from the concentrate of the copper treatment station. Those samples were used to realize all the experimental tests.

On the realization of this dissertation, we studied various methods of removing mercury. We also needed to have in consideration the granulometry of the material because that influences largely the efficiency of the ore treatment.

The adopted method to the mercury removal has been the leaching and we used different reagents and leaching conditions to determine the most efficient mode of operation.

As expected, we run into some problems that not only delayed as they made it impossible to conclude some tests. Notwithstanding, those problems were overcome and were useful to obtain some conclusions related to the operating conditions and the materials used.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS.....	I
RESUMO	III
ABSTRACT.....	IV
ÍNDICE GERAL	V
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 DOMÍNIO DE ESTUDO	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.3 MERCÚRIO.....	3
1.4 ESTADO DA ARTE.....	4
1.4.1 CASO ROZNAVA.....	4
1.4.2 ESTUDO DA UNIVERSIDADE TÉCNICA KOŠICE	6
1.4.3 ESTUDO DE VOLATILIZAÇÃO DE HG EM SOLO CONTAMINADO DE DESCOBERTO/MG	10
1.4.4 ESTUDO DE VOLATILIZAÇÃO DO HG MEDIANTE A PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS DE SOLO	11
1.5 ESTRUTURA DE ESTUDO	12
2 CASO DE ESTUDO: MINA DE NEVES CORVO.....	15
2.1 INTRODUÇÃO.....	15
2.2 CARATERIZAÇÃO.....	16
3 METODOLOGIA.....	23
3.1 INTRODUÇÃO.....	23

3.2	ESTRUTURA GERAL DA METODOLOGIA.....	26
3.3	DETALHES DA BANCA DE ENSAIO.....	28
3.4	DETALHES DA FILTRAÇÃO.....	32
3.5	DETALHES DAS LAVAGENS	33
4	PARTE EXPERIMENTAL	35
4.1	MATERIAIS	35
4.2	MÉTODO DE ANÁLISE QUÍMICA	36
4.3	PREPARAÇÃO DOS REAGENTES	37
4.3.1	SOLUÇÃO DE HIDRÓXIDO DE SÓDIO E SULFURETO DE SÓDIO	37
4.3.2	SOLUÇÃO DE HIPOCLORITO DE SÓDIO.....	38
4.4	ENSAIOS COM SULFURETO DE SÓDIO E HIDRÓXIDO DE SÓDIO.....	39
4.4.1	LIXIVIAÇÃO DE 6 HORAS A 90°C EM BA COM REATOR ABERTO.....	39
4.4.2	LIXIVIAÇÃO DE 6 HORAS A 70°C EM BA E BM COM REATOR ABERTO.....	43
4.4.3	LIXIVIAÇÃO DE 12 HORAS A 90°C EM BA COM REATOR ABERTO.....	46
4.4.4	LIXIVIAÇÃO DE 6 HORAS A 70°C EM BM COM ERLLENMEYER FECHADO	48
4.4.5	LIXIVIAÇÃO DE 6 HORAS A 90°C EM BM COM ERLLENMEYER FECHADO	49
4.4.6	LIXIVIAÇÃO DE 6 HORAS A 90°C EM BM COM ERLLENMEYER FECHADO	50
4.4.7	LIXIVIAÇÃO DE 12 HORAS A 90°C EM BM COM ERLLENMEYER FECHADO	52
4.5	ENSAIOS COM HIPOCLORITO DE SÓDIO	55
4.5.1	LIXIVIAÇÃO DE 6 HORAS A 90°C EM BM COM REATOR ABERTO	55
4.5.2	LIXIVIAÇÃO DE 6 HORAS A 90°C EM BM COM ERLLENMEYER FECHADO	57

4.5.3	LIXIVIAÇÃO DE 6 HORAS A 30°C EM BM COM ERLLENMEYER FECHADO	58
5	MICROSCOPIA.....	61
5.1	INSTRUMENTOS	61
5.2	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS	63
5.2.1	ANÁLISES PONTUAIS ÀS AMOSTRAS.....	63
5.2.2	ANÁLISE ÀS IMAGENS DE SUPERFÍCIE	73
6	CONCLUSÕES	97
6.1	PRINCIPAIS CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
6.2	DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	101
7	BIBLIOGRAFIA	103
8	ANEXOS	105

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Principais propriedades do mercúrio.	3
Tabela 2 – Composição percentual típica do minério de Roznava.	4
Tabela 3 – Condições da lixiviação efetuada no minério de Roznava.	5
Tabela 4 – Quantidade percentual lixiviada de cada elemento.....	5
Tabela 5 – Composição percentual em massa do minério da mina Pezinok.	7
Tabela 6 – Composição do reagente utilizado na lixiviação do minério da mina Pezinok.....	7
Tabela 7 – Condições de lixiviação do minério da mina Pezinok.....	7
Tabela 8 – Recuperação em percentagem dos diferentes elementos após uma lixiviação de 15 minutos a 341K. (Fonte: Journal of Engineering Annals, 2007)	9
Tabela 9 – Efeitos da variação da relação sólidos líquidos na recuperação dos diferentes elementos. (Fonte: Journal of Engineering Annals, 2007)	9
Tabela 10 – Variações da concentração de mercúrio. (Fonte: Sociedade Brasileira de Química)	10
Tabela 11 – Concentrações de mercúrio e a sua variação em percentagem antes e após a preparação das amostras. (Fonte: Sociedade Brasileira de Química)	12
Tabela 12 – Composição química do minério do concentrado da lavaria de cobre da mina de Neves Corvo.	18
Tabela 13 – Resultados de três análises químicas e composição média do minério do concentrado de cobre do circuito RC da mina de Neves Corvo.	18
Tabela 14 – Percentagens volumétricas dos diferentes calibres das partículas do minério do concentrado da lavaria de cobre da mina de Neves Corvo.	25
Tabela 15 - Percentagens volumétricas dos diferentes calibres das partículas do minério do concentrado de cobre do circuito RC da mina de Neves Corvo.....	26
Tabela 16 – Propriedades da solução de lixiviação utilizada.	39

Tabela 17 – Condições da lixiviação.	39
Tabela 18 – Condições das lavagens.	40
Tabela 19 – Composição em percentagem das diferentes amostras. 1 – Minério original do concentrado da lavaria de cobre; 2 – Minério original do concentrado de cobre do circuito RC; 3 – Minério do concentrado da lavaria de cobre após o ensaio; 4 – Minério do concentrado de cobre do circuito RC após o ensaio.	40
Tabela 20 – Percentagens de cada elemento lixiviadas nos dois tipos de minério.	41
Tabela 21 – Concentrações de mercúrio nas diferentes fases líquidas resultantes dos ensaios.	41
Tabela 22 – Propriedades da solução de lixiviação utilizada.	43
Tabela 23 – Condições operatórias da lixiviação.	43
Tabela 24 – Parâmetros das lavagens.	44
Tabela 25 – Resultados da análise química ao minério após o ensaio.	44
Tabela 26 – Percentagem lixiviada dos diferentes elementos.	44
Tabela 27 – Resultados da análise química ao minério após o ensaio.	45
Tabela 28 – Percentagem lixiviada de cada elemento.	45
Tabela 29 – Características da solução utilizada.	46
Tabela 30 – Condições operatórias da lixiviação.	46
Tabela 31 – Concentrações dos elementos presentes no minério antes e após o ensaio.	47
Tabela 32 – Percentagem lixiviada de cada elemento.	47
Tabela 33 – Propriedades da solução utilizada.	48
Tabela 34 – Parâmetros utilizados na lixiviação.	48
Tabela 35 – Propriedades da solução de lixiviação utilizada.	49
Tabela 36 – Condições operatórias da lixiviação.	49

Tabela 37 – Parâmetros da lavagem.....	50
Tabela 38 – Propriedades da solução utilizada.....	50
Tabela 39 – Condições da lixiviação.....	51
Tabela 40 – Parâmetros da lavagem.....	51
Tabela 41 – Resultados da análise química ao mercúrio presente na fase líquida e na fase sólida após o ensaio.	51
Tabela 42 – Características da solução utilizada.....	52
Tabela 43 – Parâmetros da lixiviação realizada.	53
Tabela 44 – Condições da lavagem da polpa.	53
Tabela 45 – Teores em mercúrio do resíduo e licor da lixiviação.....	53
Tabela 46 – Propriedades da solução utilizada.....	55
Tabela 47 – Parâmetros da lixiviação.	55
Tabela 48 – Parâmetros da 1ª lavagem.	56
Tabela 49 – Concentrações dos diferentes elementos no minério antes e após o ensaio e na fase líquida da lixiviação e da lavagem.	56
Tabela 50 – Quantidade em percentagem lixiviada para cada elemento.	56
Tabela 51 – Características do reagente utilizado.	57
Tabela 52 – Parâmetros operatórios da lixiviação.....	57
Tabela 53 – Condições operatórias da lavagem.	58
Tabela 54 – Concentrações de mercúrio no resíduo e licor da lixiviação.....	58
Tabela 55 – Características da solução utilizada.....	59
Tabela 56 – Parâmetros da lixiviação.	59

Tabela 57 – Condições da lavagem realizada.	59
Tabela 58 – Teores de mercúrio no resíduo e licor da lixiviação.....	60
Tabela 59 – Composição em percentagem, dos diferentes elementos detetados nas análises pontuais às diferentes amostras de minério.	64
Tabela 60 – Quantidade percentual dos elementos detetados nas análises pontuais ao minério do concentrado de cobre do circuito RC antes de sujeito a ensaios.	65
Tabela 61 – Massas atômicas dos diferentes elementos presentes no minério.	65
Tabela 62 – Tabela recalculada em proporções atômicas para os elementos presentes nas amostras pontuais ao minério do concentrado de cobre do circuito RC original.....	66
Tabela 63 – Percentagens dos diferentes elementos presentes nas análises pontuais ao minério do concentrado de cobre do circuito RC após o ensaio.	67
Tabela 64 – Proporções atômicas dos diferentes elementos presentes nas análises pontuais ao minério do concentrado de cobre do circuito RC após o ensaio.	68
Tabela 65 – Percentagens dos diferentes elementos presentes na análise pontual ao minério do concentrado de cobre do circuito RC após o ensaio.	69
Tabela 66 – Proporções atômicas dos diferentes elementos constituintes do minério do concentrado de cobre do circuito RC após o ensaio.....	70
Tabela 67 – Composição química obtida na análise pontual ao minério do concentrado de cobre do circuito RC após o ensaio.....	71
Tabela 68 – Proporções atômicas dos elementos químicos detetados na análise pontual ao minério do concentrado de cobre do circuito RC após o ensaio.	71
Tabela 69 – Composição química detetada na análise pontual ao minério do concentrado da lavaria de cobre após o ensaio.....	72
Tabela 70 – Proporções atômicas dos elementos presentes na análise pontual realizada ao minério do concentrado da lavaria de cobre após o ensaio.	72
Tabela 71 – Valores de mercúrio lixiviado para diferentes temperaturas de lixiviação.....	98

Tabela 72 – Rendimento das lixiviações para diferentes durações.	100
---	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Mercúrio na fase líquida. (fonte: Blogue Ciências & Viver)	3
Figura 2 - Recuperação do antimónio relacionada com a variação da temperatura e com dois tempos de lixiviação. Relação s:l de 1:50. (Fonte: Journal of Engineering Annals, 2007)	8
Figura 3 - Recuperação do mercúrio relacionada com a variação da temperatura com dois tempos de lixiviação. Relação s:l = 1:50. (Fonte: Journal of Engineering Annals, 2007)	8
Figura 4 – Quantidade perdida, em concentração, de mercúrio consoante o tempo de exposição para três temperaturas diferentes (Fonte: Sociedade Brasileira de Química).	11
Figura 5 - Zonas paleogeográficas e tectónicas da Península Ibérica. 1- Cobertura sedimentar Cenozóica; 2- Bordadura Meso-Cenozóica; 3-Cadeias Alpinas periféricas; 4- Soco Varisco; 5-Maçiços alóctones de Galiza e Trás-os-Montes. (Fonte: Geologia II, FEUP 2009)	15
Figura 6 – Localização geográfica tridimensional dos diferentes jazigos da mina de Neves Corvo. (Fonte: Apresentação SOMINCOR Primeiras Jornadas GEM – FEUP 2012)	17
Figura 7 – Composição química percentual do minério do concentrado da lavaria de cobre da mina de Neves Corvo.....	19
Figura 8 – Composição química percentual do minério do concentrado de cobre do circuito RC da mina de Neves Corvo.	19
Figura 9 – Esquematização da lavaria da mina de Neves Corvo.	20
Figura 10 – Assinalação da proveniência das amostras que nos foram cedidas para realizar os ensaios da dissertação.....	21
Figura 11 – Curva granulométrica do minério do concentrado da lavaria de cobre da mina de Neves Corvo.	24
Figura 12 – Curva granulométrica do minério do concentrado de cobre do circuito RC da mina de Neves Corvo.	25

Figura 13 – Fases líquidas da lixiviação e de uma lavagem e o bolo seco após filtração.	27
Figura 14 – Aspeto geral da banca montada com a base de aquecimento com resistência variável, o reator de 4 cabeças de 500mL, o condensador de 400mm e o agitador.	29
Figura 15 - Aspeto geral da banca montada com o banho maria, o reator de 4 cabeças de 500mL, o condensador de 400mm e o agitador.	30
Figura 16 – Imagem de outro ângulo do material montado dentro do banho maria.	30
Figura 17 – Banho maria com o Erlenmeyer de 1L devidamente encaixado.	31
Figura 18 – Aspeto geral da filtração com a bomba de vácuo, kitasato e filtro.	33
Figura 19 – Processo de lavagem.	34
Figura 20 – Hidróxido de sódio e sulfureto de sódio respetivamente no estado sólido.	37
Figura 21 – Reagente de com 100g/L de sulfureto de sódio e 10g/L de hidróxido de sódio.	38
Figura 22 – Hipoclorito de sódio e reagente com 150g/L do mesmo.....	38
Figura 23 – Representação ilustrativa da composição de um micro analisador de sonda eletrónica.....	61
Figura 24 – Amostras preparadas para serem introduzidas no micro analisador de sonda eletrónica.	62
Figura 25 – Superfície de concentrações do minério do concentrado da lavaria de cobre original.	75
Figura 26 - Superfície de concentrações do minério do concentrado de cobre do circuito RC original.	76
Figura 27 – Matrizes de material do minério do concentrado da lavaria de cobre e do concentrado de cobre do circuito RC respetivamente.	77
Figura 28 – Representação do cobre no minério do concentrado da lavaria de cobre e do concentrado de cobre do circuito RC respetivamente.	77
Figura 29 - Representação do zinco no minério do concentrado da lavaria de cobre e do concentrado de cobre do circuito RC respetivamente.	78
Figura 30 - Representação do antimónio no minério do concentrado da lavaria de cobre e do concentrado de cobre do circuito RC respetivamente.	78

Figura 31 - Representação do chumbo no minério do concentrado da lavaria de cobre e do concentrado de cobre do circuito RC respetivamente.	79
Figura 32 - Representação do arsénio no minério do concentrado da lavaria de cobre e do concentrado de cobre do circuito RC respetivamente.	80
Figura 33 - Representação do mercúrio no minério do concentrado da lavaria de cobre e do concentrado de cobre do circuito RC respetivamente.	80
Figura 34 - Representação dos vários elementos presentes no minério do concentrado da lavaria de cobre após o ensaio.....	82
Figura 35 – Matrizes de material presente nas amostras do minério do concentrado da lavaria de cobre antes e após o ensaio, respetivamente.....	83
Figura 36 - Representação do cobre no minério do concentrado da lavaria de cobre antes e após o ensaio, respetivamente.....	83
Figura 37 - Representação do zinco no minério do concentrado da lavaria de cobre antes e após o ensaio, respetivamente.....	84
Figura 38 - Representação do antimónio no minério do concentrado da lavaria de cobre antes e após o ensaio, respetivamente.....	85
Figura 39 - Representação do chumbo no minério do concentrado da lavaria de cobre antes e após o ensaio, respetivamente.....	85
Figura 40 - Representação do arsénio no minério do concentrado da lavaria de cobre antes e após o ensaio, respetivamente.....	86
Figura 41 - Representação dos diferentes elementos presentes no minério do concentrado de cobre do circuito RC após o ensaio de lixiviação de 6 horas a 90°C e respetivas lavagens.	87
Figura 42 - Representação dos diferentes elementos presentes no minério do concentrado de cobre do circuito RC após o ensaio de lixiviação de 6 horas a 70°C numa base de aquecimento e respetivas lavagens.	88
Figura 43 - Representação dos diferentes elementos presentes no minério do concentrado de cobre do circuito RC após o ensaio de lixiviação de 6 horas a 70°C em banho maria e respetivas lavagens.....	89

Figura 44 – Representações das matrizes de material presentes nas diferentes amostras. Minério original; Minério após o ensaio de lixiviação a 90°C; Minério após o ensaio de lixiviação a 70°C na base de aquecimento; Minério após o ensaio de lixiviação a 70°C em banho maria, respetivamente.	90
Figura 45 - Representações da distribuição e concentração de cobre presente nas diferentes amostras. Minério original; Minério após o ensaio de lixiviação a 90°C; Minério após o ensaio de lixiviação a 70°C na base de aquecimento; Minério após o ensaio de lixiviação a 70°C em banho maria, respetivamente.	91
Figura 46 - Representações da distribuição e concentração de zinco presente nas diferentes amostras. Minério original; Minério após o ensaio de lixiviação a 90°C; Minério após o ensaio de lixiviação a 70°C na base de aquecimento; Minério após o ensaio de lixiviação a 70°C em banho maria, respetivamente.	92
Figura 47 - Representações da distribuição e concentração de antimónio presente nas diferentes amostras. Minério original; Minério após o ensaio de lixiviação a 90°C; Minério após o ensaio de lixiviação a 70°C na base de aquecimento; Minério após o ensaio de lixiviação a 70°C em banho maria, respetivamente.	93
Figura 48 - Representações da distribuição e concentração de chumbo presente nas diferentes amostras. Minério original; Minério após o ensaio de lixiviação a 90°C; Minério após o ensaio de lixiviação a 70°C na base de aquecimento; Minério após o ensaio de lixiviação a 70°C em banho maria, respetivamente.	94
Figura 49 - Representações da distribuição e concentração de arsénio presente nas diferentes amostras. Minério original; Minério após o ensaio de lixiviação a 90°C; Minério após o ensaio de lixiviação a 70°C na base de aquecimento; Minério após o ensaio de lixiviação a 70°C em banho maria, respetivamente.	95
Figura 50 - Representações da distribuição e concentração de mercúrio presente nas diferentes amostras. Minério original e minério após o ensaio de lixiviação a 90°C, respetivamente.	96
Figura 51 – Variação de mercúrio lixiviado com diferentes temperaturas de ensaio.	98
Figura 52 – Rendimento relativo ao mercúrio de lixiviações com diferentes durações.	100

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Ag – Prata (símbolo químico)

As – Arsénio (símbolo químico)

Au – Ouro (símbolo químico)

BA – Base de Aquecimento

BM – Banho Maria

CIGAR - Centro de Investigação em Geo-Ambientes e Recursos

Cu – Cobre (símbolo químico)

EAA-VF – Espectrometria de Absorção Atómica com Vapor Frio

EAAC – Espectrometria de Absorção Atómica com Chama

Fe – Ferro (símbolo químico)

FEUP – Faculdade Engenharia da Universidade do Porto

Hg – Mercúrio (símbolo químico)

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia

MC – Minério de Cobre

MH – Minério de Cobre com penalizantes

MZ – Minério de Zinco

Na₂S – Sulfureto de sódio

NaClO – Hipoclorito de sódio

NaOH – Hidróxido de Sódio

Pb – Chumbo (símbolo químico)

RC – Circuito de retratamento

S – Enxofre (símbolo químico)

Sb – Antimónio (símbolo químico)

Zn – Zinco (símbolo químico)

1 Introdução

1.1 DOMÍNIO DE ESTUDO

Os jazigos minerais são depósitos naturais onde se encontra um ou mais minerais em concentrações favoráveis à sua exploração. Contudo, esses minerais nunca se encontram dissociados de outros, cujo interesse económico é nulo e constituem mesmo penalizantes económicos. Assim sendo, torna-se necessário tratar o minério explorado, de modo a remover os elementos que não interessam. A esses elementos, dá-se a denominação de contaminantes, se tiverem efeitos ambientais perniciosos e penalizantes se tiverem efeitos económicos adversos.

Neste caso de estudo, o penalizante que mais interessa remover é o mercúrio.

Uma vez que as contaminações de minério com mercúrio, não são novidade no mundo das explorações mineiras, antes de começarmos o trabalho experimental desta dissertação, procedemos a uma pesquisa bibliográfica com o intuito de encontrar situações semelhantes ou até mesmo iguais, ao nosso caso. Procurávamos descobrir quais as intervenções realizadas até à data para a descontaminação de minérios com este elemento, principalmente em sulfuretos de cobre e zinco.

Durante a fase de pesquisa, encontramos alguns casos de contaminação de minério bastante idênticos ao caso estudado nesta dissertação. Foram encontradas também outras situações que não se aplicavam à exploração mineral em si mas, envolviam solos contaminados com mercúrio e o seu tratamento por lixiviações.

1.2 OBJETIVOS

Inicialmente, o objetivo desta dissertação passou por se encontrar um método de separar e reaproveitar o zinco existente nos resíduos das escombreyras da mina de Neves Corvo. Contudo, veio-se a descobrir que a mina já tinha implementado um sistema de tratamento de zinco e, uma vez que, nos chegou a informação que a mina iria ter um problema de minério contaminado por mercúrio na exploração de um novo jazigo, mudou-se o objetivo da dissertação.

Assim sendo, o objetivo desta dissertação prende-se com o facto de, num futuro próximo, na mina de Neves Corvo, a exploração de Cobre e Zinco, vir a deparar-se com um problema de presença de mercúrio no novo jazigo a explorar. Sendo que este é considerado como um penalizante, o objetivo passa por arranjar uma solução para a remoção do mesmo, tendo em consideração que este elemento é prejudicial à saúde pública e que, não pode simplesmente ser removido e libertado para o meio ambiente.

Este elemento metálico tem particular afinidade por tecidos como células da pele, cabelo, glândulas sudoríparas, glândulas salivares, tiroide, sistema gastrointestinal, pulmões, testículos, próstata e cérebro.

A exposição a elevadas concentrações deste metal pode provocar febre, dispneia (desconforto respiratório) e cefaleia (dor de cabeça) durante algumas horas. Outros sintomas podem ser também diarreia, câibras abdominais e diminuição da visão. Casos extremos podem progredir para edemas pulmonares e cianose (coloração azul-arroxeadada da pele). As complicações graves podem inclusive levar à morte. (AreaSeg.com - Site de Segurança no Trabalho)

O objetivo é remover o mercúrio e, se possível, remover outros penalizantes durante o processo de tratamento do minério, recorrendo a um método de lixiviação, seguido de um processo de precipitação do mercúrio. Foi necessário ter em atenção que, durante as lixiviações, o minério de cobre e o minério de zinco não deveriam ser lixiviados.

Uma vez que existem testemunhos de mais que um método para a lixiviação do mercúrio, esta dissertação tem também, como objetivo, descobrir qual o reagente mais indicado e quais as condições de lixiviação mais favoráveis consoante os resultados obtidos.

1.3 MERCÚRIO

O mercúrio é um elemento metálico que se encontra no estado líquido à temperatura ambiente. Este metal possui uma elevada densidade assim como uma tensão superficial suficientemente grande para que este seja capaz de formar pequenas esferas perfeitas no meio ambiente. Devido ao estado líquido e à falta de estrutura cristalina, não se lhe atribuem algumas características físicas tais como a dureza e a clivagem. Este metal, quando se encontra na fase sólida, sujeito a temperaturas muito baixas e baixas pressões, forma cristais no sistema romboédrico doutro modo, quando congelado e submetido a altas pressões, forma cristais no sistema tetragonal. Quando o mercúrio se encontra exposto ao ar, este sofre uma alteração lenta, resultando numa cobertura de cor cinza de óxido mercuroso sendo que, quando exposto a temperaturas de 350°C, este oxida-se mais rapidamente, produzindo óxido mercúrico vermelho (HgO).

Este metal é conhecido por dissolver facilmente ouro, prata, chumbo e metais alcalinos, formando ligas consistentes denominadas de amálgamas.

O mercúrio pode ser atacado por cloro a frio e por enxofre a quente. Este é também conhecido por decompor o ácido sulfúrico e o ácido nítrico. (AreaSeg.com - Site de Segurança no Trabalho)

As principais características do mercúrio encontram-se expostas na tabela que se segue.



Figura 1 – Mercúrio na fase líquida. (fonte: Blogue Ciências & Viver)

Nome	Mercúrio
Nome latino	Hydrargirium
Símbolo	Hg
Cor	Prateado
Número atómico	80
Massa atómica	200,59u
Densidade	13,6g/mL
Temperatura de fusão	-38,87°C
Temperatura de ebulição	326,58°C
Estado físico natural	Líquido

Tabela 1 – Principais propriedades do mercúrio.

1.4 ESTADO DA ARTE

Antes de darmos início aos trabalhos experimentais desta dissertação, realizamos uma pesquisa bibliográfica com o intuito de descobrirmos casos semelhantes ou até mesmo iguais ao tema abordado.

Dessa pesquisa bibliográfica, encontramos muitos casos de contaminações com mercúrio e os seus tratamentos mas a maioria desses casos, não estavam relacionados com a indústria extrativa. Após uma pesquisa mais extensa, descobrimos dois casos bastante idênticos ao nosso. São eles o caso Roznava e o estudo realizado na Universidade Técnica Košice.

1.4.1 CASO ROZNAVA

Todas as informações referentes a este caso, presentes neste documento, foram retiradas da referência bibliográfica (C.G. Anderson and L.G.Twidwell, 2008).

Um caso muito semelhante ao desta dissertação foi estudado nos Estados Unidos da América, no Center for Advanced Mineral and Metallurgical Processing. O estudo era relacionado com a contaminação dos jazigos da zona de Roznava, distrito da Eslováquia. Estes são conhecidos pelos seus minérios de tetraedrite que, são minerais de cobre e ferro, antimônio e enxofre, de fórmula química $(\text{Cu}, \text{Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$. Este minério contém mercúrio, dificultando assim o processamento do mesmo.

A tabela abaixo, mostra a análise química típica do concentrado de flutuação deste minério.

Sb (%)	As (%)	Hg (%)	Cu (%)	Fe (%)	Ag (ppm)	Au (ppm)	TS (%) ¹
17,3	1,85	0,55	26,1	12,4	6,400	2,0	22,0

Tabela 2 – Composição percentual típica do minério de Roznava.

¹ Na tabela aparece como TS mas uma vez que não existe nenhum elemento com a denominação TS, e atendendo ao contexto, pensa-se que seja apenas S (Enxofre) total.

No passado, estes concentrados eram purificados recorrendo a grelhagem pirometalúrgica contudo, este método causava fortes impactes ambientais.

Assim sendo, começaram a ser realizados estudos nos Estados Unidos, utilizando hidrometalurgia com sulfuretos em meio alcalino. Os aspetos dos estudos a ter em conta seriam a solubilização do antimónio e do mercúrio, a purificação dos licores resultantes das lixiviações, a remoção do mercúrio e a recuperação do ouro da solução.

A lixiviação utilizada foi uma lixiviação simples com as condições apresentadas na tabela seguinte.

Tempo de lixiviação	12 horas
Concentrado de Roznava	100g/L
Temperatura de lixiviação	105°C
Enxofre adicionado	20g/L
Hidróxido de Sódio	35g/L

Tabela 3 – Condições da lixiviação efetuada no minério de Roznava.

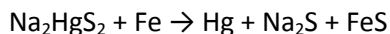
As condições e resultados apresentados são o resultado de testes em circuito fechado de um sistema que inclui extensas reciclagens de soluções empobrecidas após a recuperação de antimónio.

Na tabela seguinte são apresentados, em percentagem, a quantidade de material lixiviado.

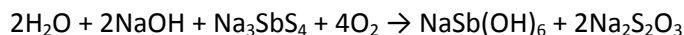
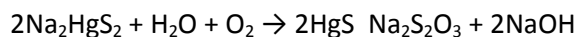
Sb lixiviado	95,0%
Hg lixiviado	95,0%
Cu lixiviado	0,0%
As lixiviado	60,0%
Au lixiviado	20,0%
Ag lixiviado	0,0%

Tabela 4 – Quantidade percentual lixiviada de cada elemento.

Uma vez que neste caso, também existia antimónio, o mercúrio tinha que ser separado para que se pudesse recuperar o antimónio por processos eletrolíticos. A recuperação do mercúrio pode ser realizada por precipitação como é possível verificar pela equação química que se segue.



No caso específico de Roznava, foi proposta uma alternativa na qual o mercúrio precipitava conjuntamente com a produção do subproduto antimonato de sódio através de oxidação por pressão como se pode verificar nas seguintes equações.



Ao antimonato de sódio é então retirado o mercúrio através de uma lixiviação seletiva. O mercúrio é depois recuperado como resíduo, estabilizado e armazenado enquanto o antimonato de sódio é reciclado para o processo ou comercializado. (C.G. Anderson and L.G.Twidwell, 2008)

1.4.2 ESTUDO DA UNIVERSIDADE TÉCNICA KOŠICE

Todas as informações referentes a este estudo, presentes neste documento, foram retiradas da pesquisa bibliográfica (Emília SMINČÁKOVÁ, 2007).

Devido ao aumento da preocupação no que toca à poluição ambiental, os métodos pirometalúrgicos têm vindo a ser substituídos por métodos hidrometalúrgicos.

O objetivo deste estudo visava verificar os efeitos da variação da temperatura e dos tempos de lixiviação do antimónio, cobre, ferro, níquel e mercúrio durante uma lixiviação em meio alcalino utilizando uma solução aquosa de $\text{Na}_2\text{S} + \text{NaOH}$ com concentração constante.

O minério utilizado neste estudo foi um minério de estibnite (Sb_2S_3) e as amostras utilizadas eram provenientes da mina Pezinok situada na República Eslovaca. A tabela que se segue corresponde aos teores em percentagem de peso dos diferentes constituintes da amostra.

Elemento	Sb	Zn	Fe	Cu	Hg	Ni	S	Si	Ca	Al	Pb	Mg
Peso (%)	49,3	5,43	0,84	0,115	0,015	0,0018	19,15	10,4	1,81	0,65	0,63	0,37

Tabela 5 – Composição percentual em massa do minério da mina Pezinok.

Na análise efetuada, foram identificados também vestígios de Titânio, Manganês, Arsénio, Estanho, Bismuto e Prata.

Antes de lixiviado, o material foi britado e moído, sendo seguidamente separado granulometricamente de modo a se obter a fração de calibre 0.25mm.

O reagente utilizado foi uma solução de Na_2S e NaOH , preparada com as características apresentadas na tabela que se segue.

Reagente	
Concentração Na_2S	1% em peso
Concentração NaOH	1% em peso

Tabela 6 – Composição do reagente utilizado na lixiviação do minério da mina Pezinok.

As lixiviações foram realizadas mantendo constantes os seguintes parâmetros:

Lixiviação	
Volume do reator	250cm ³
Relação sólidos : líquidos (m/m)	1:50
Duração	15 minutos

Tabela 7 – Condições de lixiviação do minério da mina Pezinok

O fator variável neste caso foi a temperatura de lixiviação, tendo esta sido de 294K, 304K, 315K, 323K e 341K nos diferentes ensaios. Finalizadas as lixiviações, a polpa era retirada do reator e analisada quanto à presença de Zinco, Ferro, Cobre e Níquel. O Antimónio e o Mercúrio eram analisados na solução ao fim de 5 e de 15 minutos de lixiviação.

Os resultados da variação da temperatura na recuperação² do antimónio estão demonstrados no gráfico que se segue.

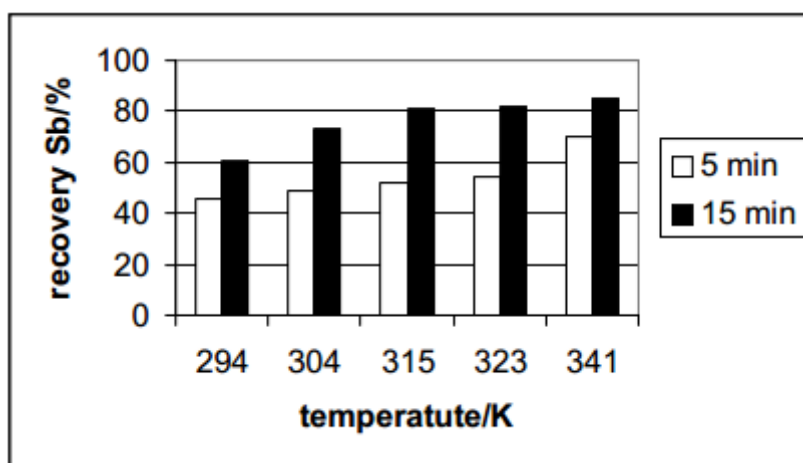


Figura 2 - Recuperação do antimónio relacionada com a variação da temperatura e com dois tempos de lixiviação. Relação s:l de 1:50. (Fonte: Journal of Engineering Annals, 2007)

Os mesmos ensaios foram realizados para o mercúrio, estando os resultados apresentados no gráfico seguinte.

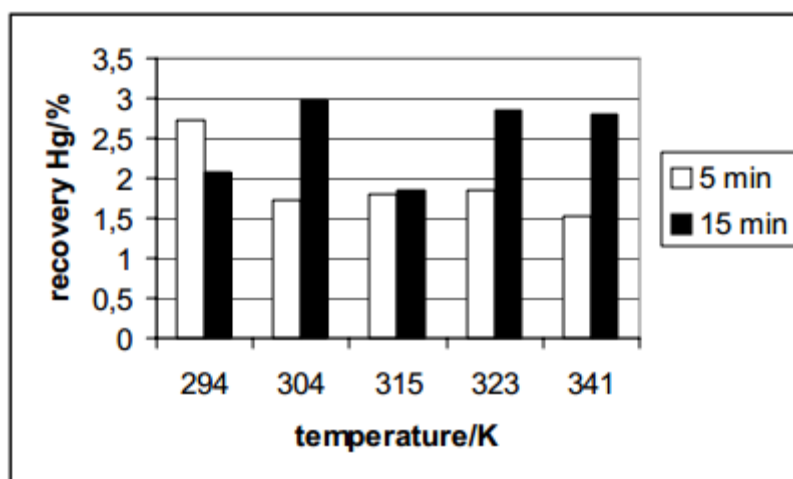


Figura 3 - Recuperação do mercúrio relacionada com a variação da temperatura com dois tempos de lixiviação. Relação s:l = 1:50. (Fonte: Journal of Engineering Annals, 2007)

² Dizemos recuperação pois, na bibliografia aparece o termo “recovery” e não é feito qualquer tipo de menção se se estão a referir a resultados da lixiviação ou à recuperação final. Assim sendo, este termo foi traduzido à letra.

Observando os gráficos anteriores, podemos constatar que quanto maior a temperatura, maior a recuperação do antimónio, contudo, os resultados do mercúrio são muito pouco esclarecedores.

A tabela que se segue resume as recuperações dos diferentes elementos estudados após uma lixiviação de 15 minutos a uma temperatura de 341K.

Elemento	Sb	Hg	Fe	Zn
Recuperação (%)	85,3	2,79	0,83	0,049

Tabela 8 – Recuperação em percentagem dos diferentes elementos após uma lixiviação de 15 minutos a 341K. (Fonte: Journal of Engineering Annals, 2007)

Neste estudo, experimentou-se também variar a relação de sólidos líquidos para determinar de que modo afetava a recuperação do Mercúrio e do Antimónio. A tabela que se segue mostra os resultados da variação da relação de sólidos líquidos numa lixiviação à temperatura de 297K.

Relação sólidos líquidos s:l (g:cm ³)	1:10	1:25	1:40	1:50	1:100
Sb (%)	35,4	62,6	90,1	96,8	96,8
Hg (%)	0,68	1,93	2,33	2,53	3,73

Tabela 9 – Efeitos da variação da relação sólidos líquidos na recuperação dos diferentes elementos. (Fonte: Journal of Engineering Annals, 2007)

Observando a tabela anterior, pode-se confirmar que a relação sólido / líquido influencia em grande medida a eficácia da lixiviação. Podemos confirmar que, quanto menor for a percentagem de sólidos, maior é a eficiência do processo.

Durante o trabalho experimental, deparamo-nos com a possibilidade de estarmos perante um problema de volatilização de mercúrio e, consequentemente, a sua perda por libertação para a atmosfera.

Apesar de não existir a certeza absoluta desta situação, achamos importante proceder a uma pesquisa bibliográfica sobre as condições que proporcionam a volatilização do mercúrio.

Encontramos dois estudos realizados sobre esse assunto. Um estudava a temperatura a que o mercúrio começava a volatilizar a partir de uma amostra de solo seca enquanto o outro estudava a volatilização do mercúrio aquando da preparação das amostras.

1.4.3 ESTUDO DE VOLATILIZAÇÃO DE Hg EM SOLO CONTAMINADO DE DESCOBERTO/MG

O texto que se segue, referente a este estudo, tem como base informativa a bibliografia (Júnior, et al., 2008).

Em 2002, verificou-se um afloramento de mercúrio metálico no município de Descoberto em Minas Gerais, Brasil. Segundo estudos realizados no local, a fonte de contaminação foi Hg metálico contudo, ocorre oxidação do mesmo fazendo com que se encontrem amostras com teores elevados (90 mg/Kg) em que o mercúrio se encontra praticamente todo como Hg^{2+} . Segundo os resultados da extração térmica de mercúrio a 80°C, ocorreram perdas até 84% em 8 horas. Estes resultados indiciam que o aquecimento tenha provocado a redução e volatilização do mercúrio.

Como tal, realizou-se um estudo onde se pretendia verificar a possibilidade de volatilização do mercúrio utilizando uma amostra de solo da área contaminada.

O estudo consistiu no tratamento de uma amostra de solo seca com uma concentração de $1,3 \pm 0,2$ mg/Kg por aquecimento e com diferentes temperaturas e tempos de ensaio, utilizando um fluxo de nitrogénio de 526mL/min como gás de arraste. O mercúrio restante na amostra foi analisado por extração com água régia e por absorção atômica com gerador de hidretos.

Os resultados obtidos apresentam-se na tabela e respetivo gráfico.

tempo / hora	30 °C	45 °C	60 °C
0	1,3 ± 0,2		
1	1,09 ± 0,04	1,04 ± 0,02	1,08 ± 0,07
2	1,07 ± 0,06	1,02 ± 0,03	1,03 ± 0,04
4	1,05 ± 0,01	1,01 ± 0,09	1,05 ± 0,01
8	0,97 ± 0,06	1,01 ± 0,02	1,03 ± 0,02

Tabela 10 – Variações da concentração de mercúrio. (Fonte: Sociedade Brasileira de Química)

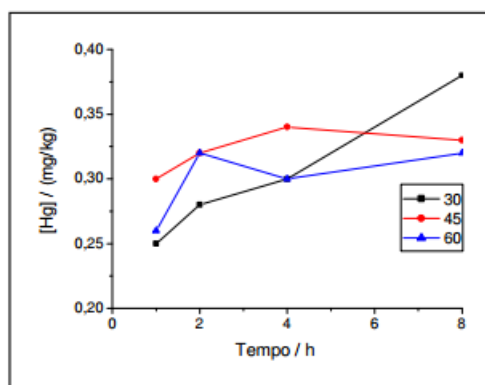


Figura 4 – Quantidade perdida, em concentração, de mercúrio consoante o tempo de exposição para três temperaturas diferentes (Fonte: Sociedade Brasileira de Química).

Como podemos verificar analisando a tabela e o gráfico, o mercúrio volatiliza com bastante facilidade, mesmo a temperaturas relativamente baixas.

1.4.4 ESTUDO DE VOLATILIZAÇÃO DO HG MEDIANTE A PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS DE SOLO

O texto que se segue, referente a este estudo, tem como base a bibliografia (Magalhães, Junior, Silva, & Windmöller, 2009).

Dando continuidade ao estudo anteriormente referido, foram realizados ensaios para averiguar de que modo a preparação das amostras afetava o teor de Hg.

O mercúrio elementar presente na região diferencia-se dos outros metais pois, este pode ser volatilizado na interface solo/atmosfera na forma de Hg^0 ou, em menor quantidade, na forma de compostos voláteis. O objetivo deste estudo era analisar o efeito da secagem e crivagem das amostras no teor de Hg presente nas mesmas. Para este trabalho, foi utilizada a técnica de termodessorção com um espectrómetro de absorção atômica e um sistema de geração de hidretos para quantificar o Hg total.

A tabela que se segue, mostra os valores obtidos para quatro amostras recolhidas em diferentes locais da zona contaminada. (Magalhães, Junior, Silva, & Windmöller, 2009)

Amostras/ Condições	Concentração de Hg total em base seca / (mg/Kg)			
	E3-E4	B5	B6-C6	T1C2
Úmida	0,31 ± 0,02	1,25 ± 0,07	1,33 ± 0,17	83,97 ± 10,69
Seca/ Destorroadada	0,22 ± 0,01	1,04 ± 0,01	1,08 ± 0,05	65,25 ± 0,54
Varição amostra (Úmida - Seca) / %	28,52	17,04	18,70	22,30

Tabela 11 – Concentrações de mercúrio e a sua variação em percentagem antes e após a preparação das amostras. (Fonte: Sociedade Brasileira de Química)

Analizando a tabela, podemos verificar que o teor em mercúrio diminui substancialmente após a preparação da amostra. Estes resultados demonstram que, aquando da presença de uma contaminação de um solo com mercúrio, convém utilizar as amostras no seu estado natural pois, a secagem e preparação das mesmas pode reduzir o teor de Hg em aproximadamente 20%.

1.5 ESTRUTURA DE ESTUDO

A dissertação começou com uma pesquisa bibliográfica sobre casos de minério contaminado com mercúrio e as diferentes metodologias utilizadas para a remoção do mesmo. De todas as técnicas existentes (pirometalurgia, lixiviação, separação eletrocinética, processos físicos e bio-lixiviação), a lixiviação pareceu ser a mais promissora e a mais exequível por isso, foi a escolhida para a remoção do mercúrio encontrado no minério de cobre proveniente da mina de Neves Corvo. Uma vez selecionado o método, foi necessário escolher os melhores reagentes lixiviantes, que nos garantissem uma remoção considerável de mercúrio, sem lixiviar o cobre e o zinco. O reagente deveria também lixiviar não apenas o mercúrio mas também outros possíveis penalizantes.

Para os ensaios experimentais, foram-nos cedidas duas amostras de material proveniente da mina de Neves Corvo. Uma das amostras correspondia ao minério proveniente do concentrado do circuito de flutuação da lavaria de cobre e a outra era proveniente do concentrado de cobre extraído do circuito

RC. Sobre as amostras, foi realizada uma amostragem por quartejamento de modo a assegurar uma homogeneização do material.

Para sabermos a granulometria do material a tratar, foi efetuada uma análise granulométrica num laboratório do Centro de Investigação em Geo-Ambientes e Recursos (CIGAR).

De seguida, foi feita uma análise química no LNEG de modo a sabermos a composição química dos dois tipos de minério.

Depois de recebidos os resultados das análises químicas e granulométricas, procedemos à realização de ensaios exploratórios preliminares para determinar as condições operatórias a utilizar.

Analisando os resultados, constatamos que, para ensaios iguais, havia diferenças no rendimento das lixiviações do minério da lavaria de cobre quando comparado com o minério do concentrado de cobre do circuito RC.

Uma vez que o material foi submetido a ensaios iguais, procedemos a uma análise microscópica para ver se se podia explicar tal fenómeno através de uma análise estrutural do minério.

2 Caso de estudo: Mina de Neves

Corvo

2.1 INTRODUÇÃO

O território português está dividido geologicamente em cinco zonas principais, cada uma com características únicas e distintas, mas todas de especial interesse a nível de exploração mineira. Essas zonas são a Zona Asturocidental Leonesa, a Zona de Galiza Trás-os-Montes, a Zona Centro Ibérica, a Zona de Ossa Morena e a Zona Sul Portuguesa.

A mina de Neves Corvo encontra-se situada na Zona Sul Portuguesa, que é constituída pela Faixa Piritosa, pelo grupo do Flysch da Baixa Alentejo e pelas antiformas de Bordeira e Aljezur. Nesta zona, as ocorrências minerais mais importantes são o Lousal, Aljustrel, S. Domingos (que atualmente se encontra esgotado) e Neves Corvo.

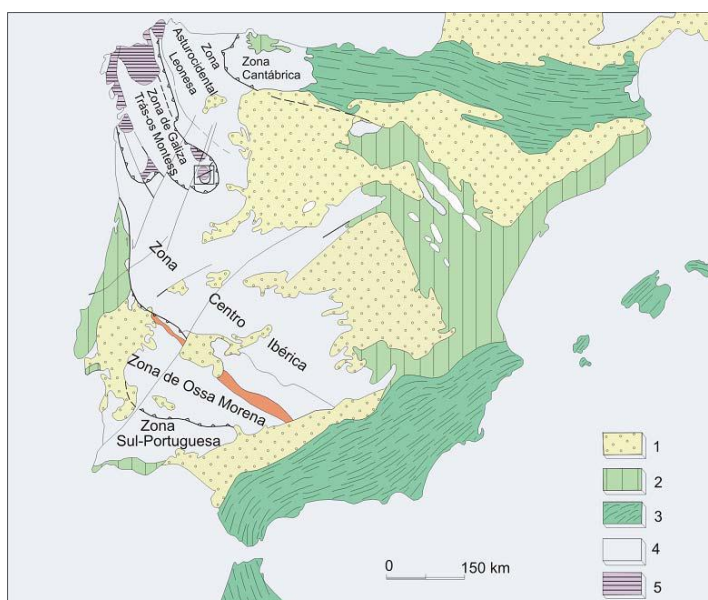


Figura 5 - Zonas paleogeográficas e tectónicas da Península Ibérica. 1- Cobertura sedimentar Cenozóica; 2-Bordadura Meso-Cenozóica; 3-Cadeias Alpinas periféricas; 4- Soco Varisco; 5-Maciços alóctones de Galiza e Trás-os-Montes. (Fonte: Geologia II, FEUP 2009)

A mina de Neves Corvo é uma mina cuja exploração se baseia na extração de Cobre e Zinco. Situada no concelho de Castro Verde, distrito de Beja, esta mina produz aproximadamente 75.000 toneladas de minério por ano.

No ano de 1977 foi descoberto o primeiro jazigo com altos teores de cobre. Três anos depois, em 1980, foi constituída a empresa Somincor, tendo os trabalhos na mina começado apenas em 1982, com o início dos acessos ao jazigo.

A exploração começou a ser feita somente no ano 1989, nos jazigos do Corvo e Graça recorrendo ao método Drift & Fill, fazendo com que em 1990, a mina iniciasse a produção de estanho em Corvo.

Passados quatro anos, começou-se a explorar o cobre da zona inferior do jazigo de Corvo e em 1995, começou a ser explorado o cobre do jazigo de Neves pelo método Bench & Fill. Esse mesmo método foi também utilizado no ano 2000 para a extração de cobre da zona inferior do jazigo de Corvo.

No ano 2006 deu-se o início à produção de zinco na zona sudeste do jazigo de Corvo, na zona sul do jazigo de Neves e no jazigo da Graça. Um ano depois, deu-se o início da extração de cobre no jazigo do Zambujal e, mais recentemente, em 2009, deu-se o início à exploração de cobre do jazigo do Lombador (Pereira & Rodrigues, 2009).

Atualmente a mina de Neves Corvo produz quatro tipos de minério, sendo eles, minério de cobre (MC), minério de cobre com penalizantes (MH), minério de zinco (MZ) e minério de zinco com penalizantes (MZP).

2.2 CARATERIZAÇÃO

A mina de Neves Corvo tem uma extensão expectável de 10.633m até ao final do ano 2012, sendo esta constituída por cinco jazigos principais. Estes são o jazigo de Neves, Corvo, Zambujal, Graça e Lombador (Figura 6). Atualmente a mina está a expandir a sua área para a zona do Lombador, jazigo esse que ainda tem um volume de minério enorme para se explorar.

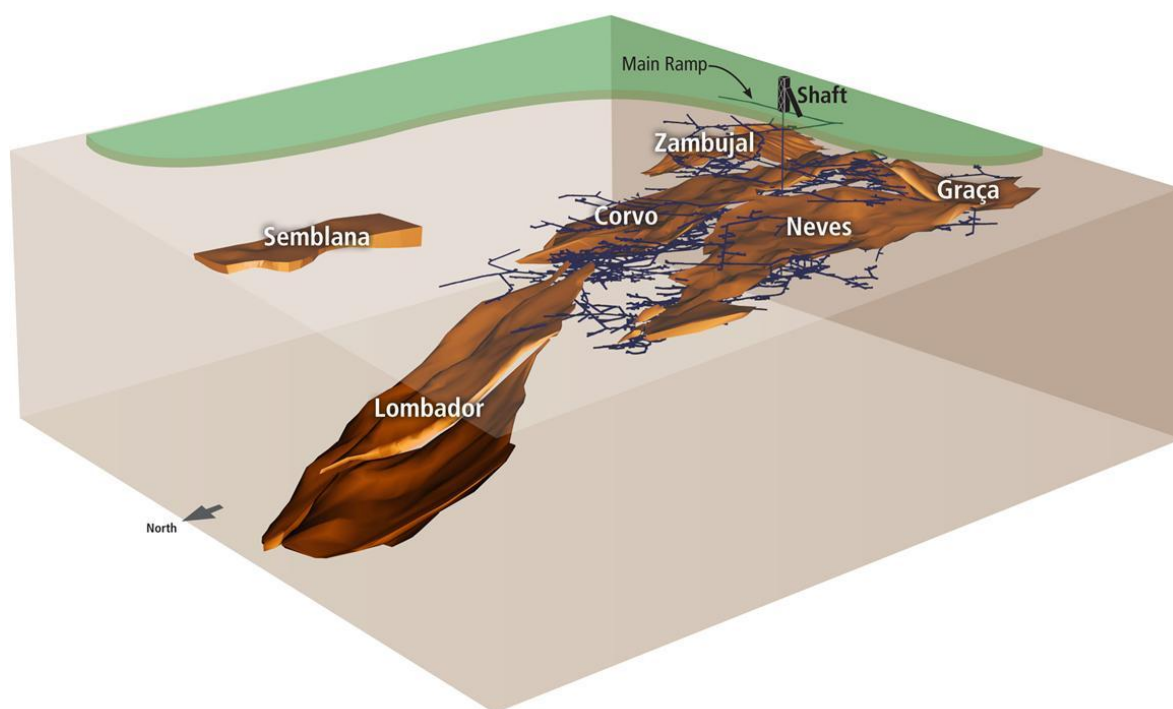


Figura 6 – Localização geográfica tridimensional dos diferentes jazigos da mina de Neves Corvo. (Fonte: Apresentação SOMINCOR Primeiras Jornadas GEM – FEUP 2012)

Segundo algumas pesquisas, os teores médios do minério, sem contar com o jazigo do Lombador, já chegaram aos 11% para o cobre, estando agora a rondar os 3%. A nível de zinco, o teor médio atual ronda os 7,4%. As estimativas mais recentes até 2009 previam uma quantidade de aproximadamente 35Mt de minério com teores em cobre superiores a 8%. (Pereira & Rodrigues, 2009)

Apesar da excelente qualidade dos jazigos minerais, quer em quantidade como em qualidade do minério, inconvenientemente, o jazigo do Lombador encontra-se contaminado com penalizantes como mercúrio e antimónio. Num futuro próximo, esses contaminantes terão que ser removidos do minério aquando do seu tratamento na lavaria.

O minério utilizado na fase experimental desta dissertação não é proveniente do jazigo do Lombador, contudo, ele apresenta teores em Hg e outros penalizantes apreciáveis.

Para sabermos ao certo, a composição química dos minérios a tratar, procedemos a um pedido de análise no LNEG para as diferentes amostras.

Inicialmente, foi realizada uma análise química aos dois minérios, contudo, devido à obtenção de rendimentos de lixiviação negativos em alguns ensaios, foram realizadas mais duas análises ao minério do concentrado de cobre do circuito RC. Assim sendo, tomamos a composição química do minério do circuito RC como a média das três análises.

A tabela que se segue, é referente à composição química do minério do concentrado da lavaria de cobre.

Amostra	Ag (ppm)	Cu (%)	Fe (%)	Zn (%)	As (%)	Sb (%)	Hg (ppm)	Pb (%)	Sn (%)	S (%)
Conc. Lavaria	69	26	31	3,7	0,23	0,23	40	0,74	0,20	29

Tabela 12 – Composição química do minério do concentrado da lavaria de cobre da mina de Neves Corvo.

As tabelas seguintes são relativas às três análises realizadas sobre o minério do concentrado de cobre do circuito RC e a sua média.

Amostra	Ag (ppm)	Cu (%)	Fe (%)	Zn (%)	As (%)	Sb (%)	Hg (ppm)	Pb (%)	Sn (%)	S (%)
Conc. Cobre RC	359,00	20,00	31,00	5,00	0,43	0,49	102,00	1,60	0,25	31,00
	— ³	17,00	27,00	4,40	—	—	131,00	1,70	—	28,00
	—	19,00	26,00	4,20	—	—	123,00	1,70	—	29,00
Média	359,000	18,667	28,000	4,533	0,43	0,49	118,667	1,667	0,25	29,333

Tabela 13 – Resultados de três análises químicas e composição média do minério do concentrado de cobre do circuito RC da mina de Neves Corvo.

Para uma melhor interpretação das tabelas anteriores, foram elaborados dois gráficos circulares correspondentes a cada amostra.

³ Elementos não analisados aquando da realização da 2ª e 3ª análise ao minério.

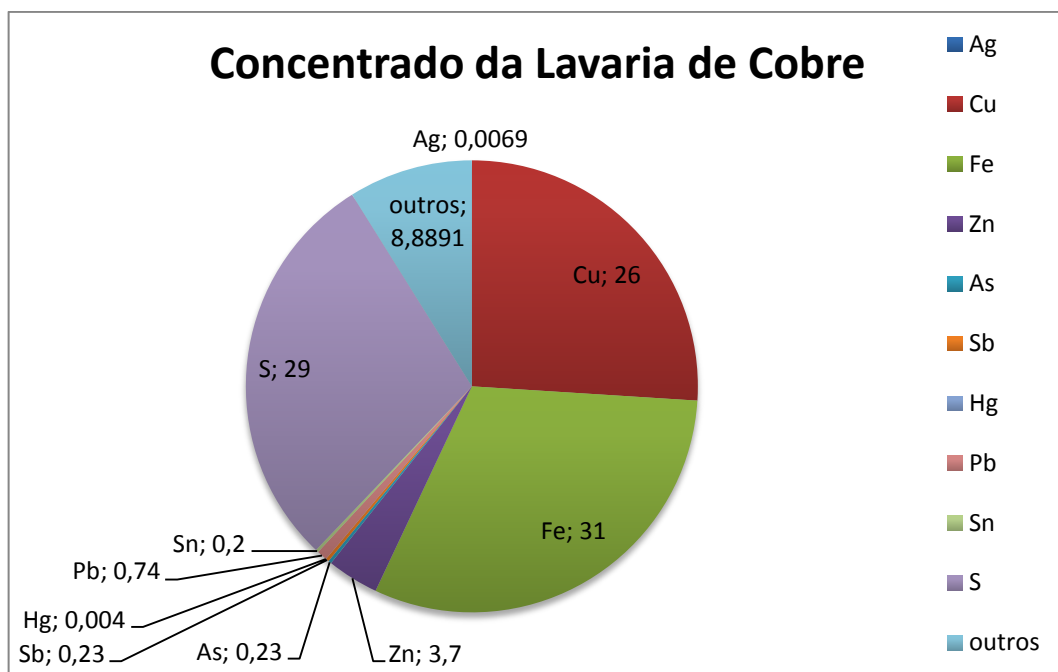


Figura 7 – Composição química percentual do minério do concentrado da lavaria de cobre da mina de Neves Corvo.

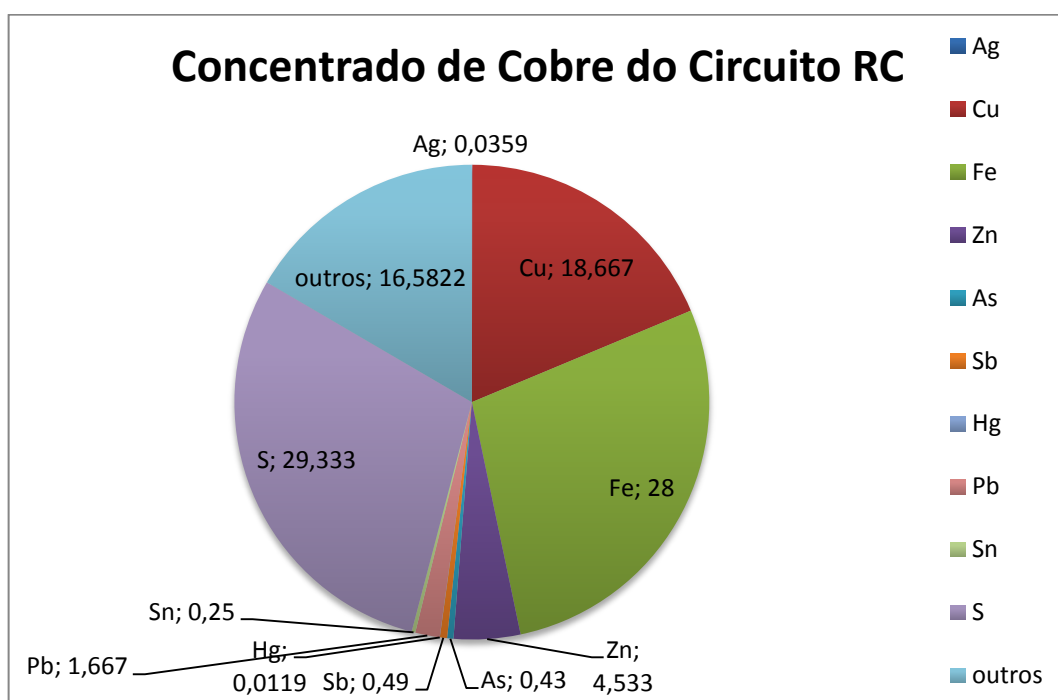


Figura 8 – Composição química percentual do minério do concentrado de cobre do circuito RC da mina de Neves Corvo.

Como é possível verificar pela análise das tabelas, o minério do concentrado da lavaria do cobre possui uma concentração em mercúrio muito baixa comparativamente ao concentrado de cobre do circuito RC. O mesmo acontece em relação ao arsénio e ao chumbo que são aproximadamente o

dobro do valor. Como seria de esperar, o teor em cobre é bastante superior no minério da lavaria de cobre enquanto que os valores de zinco, são aparentemente idênticos.

Para o leitor ter uma ideia mais detalhada da proveniência das amostras, segue-se um esquema da lavaria da mina.

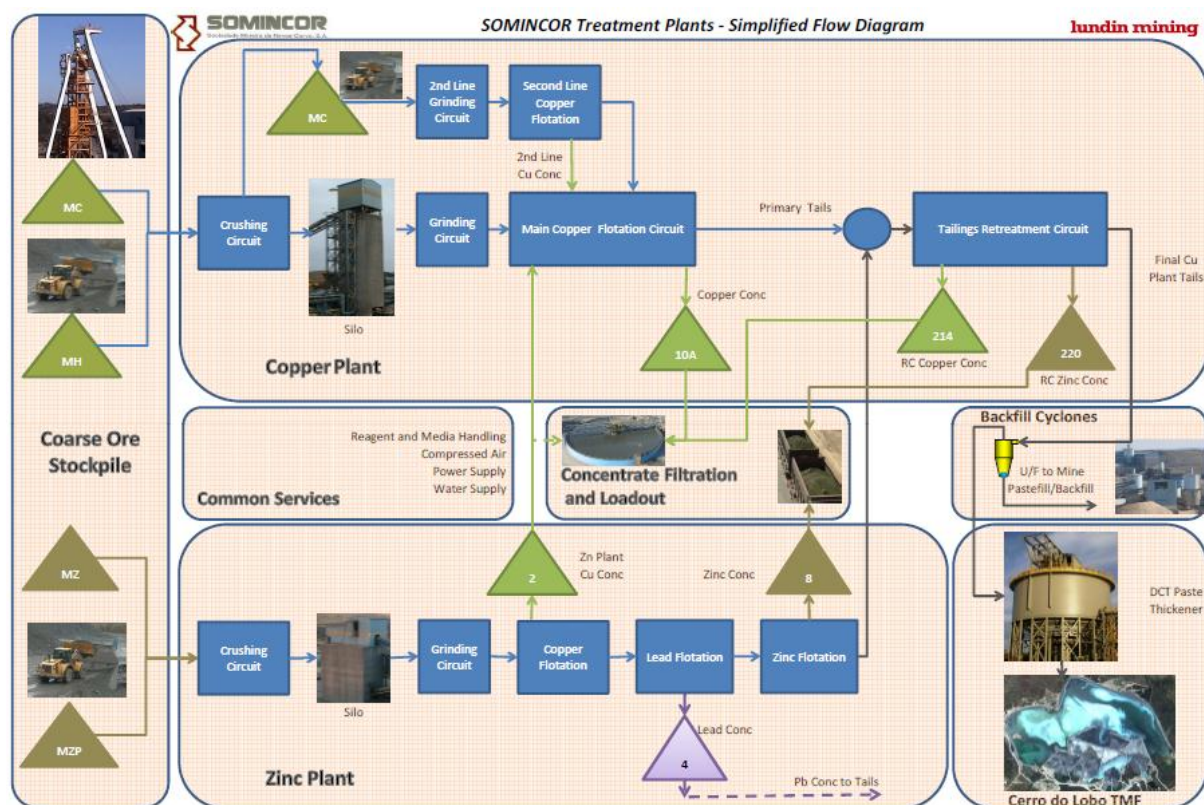


Figura 9 – Esquematisação da lavaria da mina de Neves Corvo.

A mina, atualmente, produz três tipos de minério:

MC – Minério de Cobre

MH – Minério de Cobre com penalizantes

MZ – Minério de Zinco

MZP – Minério de Zinco com penalizantes

As amostras que nos foram fornecidas, são provenientes do concentrado da lavaria de cobre e do concentrado de cobre do circuito RC, identificados na imagem seguinte.

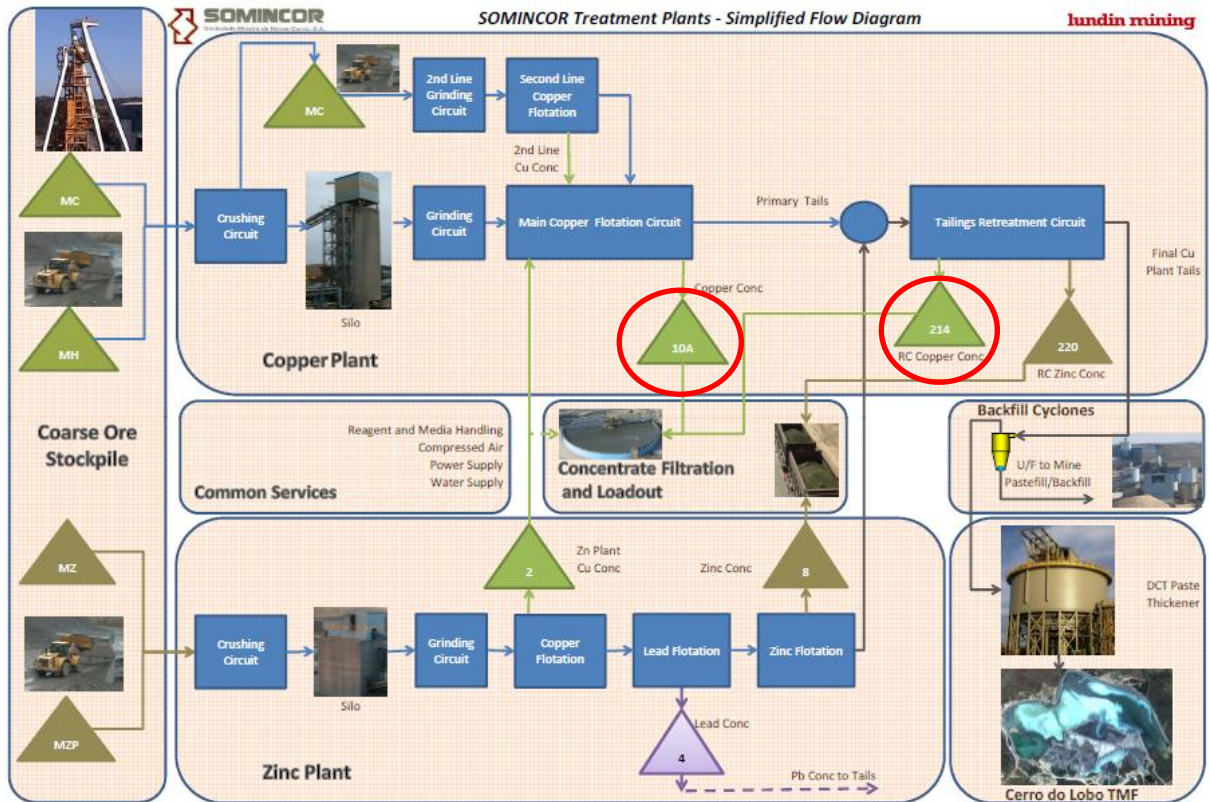


Figura 10 – Assinalação da proveniência das amostras que nos foram cedidas para realizar os ensaios da dissertação.

3 Metodologia

3.1 INTRODUÇÃO

A metodologia utilizada no decorrer desta dissertação prende-se com o uso de lixiviações, variando as condições das mesmas de modo a determinar as condições mais favoráveis para o problema em questão.

As lixiviações são processos utilizados na hidromineralurgia e consistem na extração, preferencialmente seletiva, de um constituinte solúvel que se encontra numa massa sólida.

A base de funcionamento das lixiviações está dependente da solubilidade dos minerais que se pretendem lixiviar. Normalmente, possui-se uma massa mineralizada, constituída por vários minerais diferentes, cada um com condições de lixiviação diferentes. Isso permite que, após o material ser devidamente moído, este possa ser lixiviado com reagentes específicos de modo a solubilizar um ou mais elementos pretendidos. Deste modo, pode-se remover um elemento que se encontre misturado com outros como é o caso do mercúrio que vamos lixiviar. (Fiúza, 2010)

Este método de tratamento permite a remoção de penalizantes ou a remoção do elemento útil, consoante a situação mais favorável.

Os principais parâmetros a ter em consideração quando se realiza uma lixiviação são o teor do elemento a ser lixiviado, a granulometria do material, a temperatura e a agitação do processo.

A pesquisa bibliográfica indicou-nos que a lixiviação seria o método a adotar. Não obstante, existem vários tipos de lixiviações e, dentro desses tipos, podem-se alterar vários parâmetros que influenciam positiva ou negativamente o resultado da lixiviação.

É de mencionar também que há vários reagentes que podem ser utilizados para a lixiviação pretendida contudo, um dos reagentes encontrados, pareceu ser o mais adequado, uma vez que este não só lixiviava o mercúrio como também lixiviava outros penalizantes sem afetar o cobre ou o zinco.

O reagente em questão foi uma solução preparada de hidróxido de sódio com uma concentração de 10g/L e sulfureto de sódio com uma concentração de 100g/L.

Após uma análise à granulometria do material que nos foi cedido para trabalhar, concluímos que a melhor possibilidade de tratamento, seria utilizar uma lixiviação dinâmica com agitação lenta devido ao calibre extremamente fino das partículas. Estas facilmente formavam aglomerados, reduzindo imenso o rendimento do processo pois, como é sabido, quanto maior a superfície livre do material, maior o rendimento da lixiviação.

Os resultados das análises granulométricas encontram-se presentes nas figuras que se seguem.

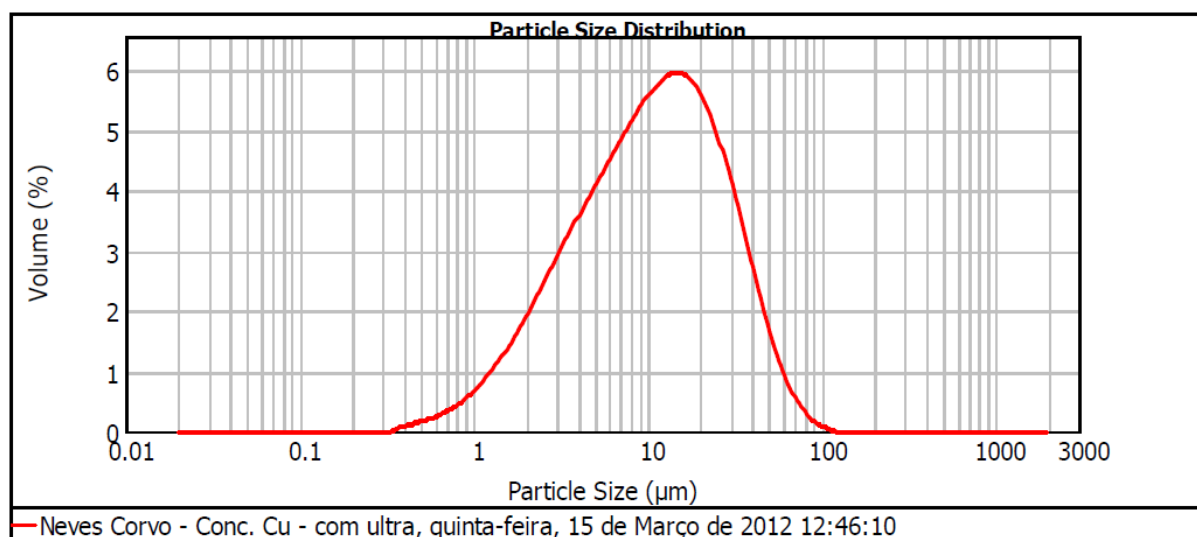


Figura 11 – Curva granulométrica do minério do concentrado da lavaria de cobre da mina de Neves Corvo.

Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %
0.832	0.49	5.754	4.12	45.709	1.10
0.955	0.63	6.607	4.39	50.000	0.50
1.096	0.80	7.586	4.66	52.481	1.11
1.259	1.01	8.710	4.91	60.256	0.70
1.445	1.24	10.000	5.13	69.183	0.40
1.660	1.50	11.482	5.30	79.433	0.21
1.905	0.59	13.183	5.38	91.201	0.09
2.000	1.19	15.136	5.36	104.713	0.03
2.188	2.07	17.378	5.21	120.226	0.00
2.512	2.37	19.953	4.94	138.038	0.00
2.884	2.68	22.909	4.53	158.489	0.00
3.311	2.98	26.303	4.02	181.970	0.00
3.802	3.28	30.200	3.43	208.930	0.00
4.365	3.56	34.674	2.80	239.883	0.00
5.012	3.84	39.811	2.18	275.423	0.00
5.754		45.709		316.228	0.00

Tabela 14 – Percentagens volumétricas dos diferentes calibres das partículas do minério do concentrado da lavaria de cobre da mina de Neves Corvo.

No caso do material proveniente do concentrado da lavaria de cobre, a granulometria média das partículas encontra-se por volta dos 15μm.

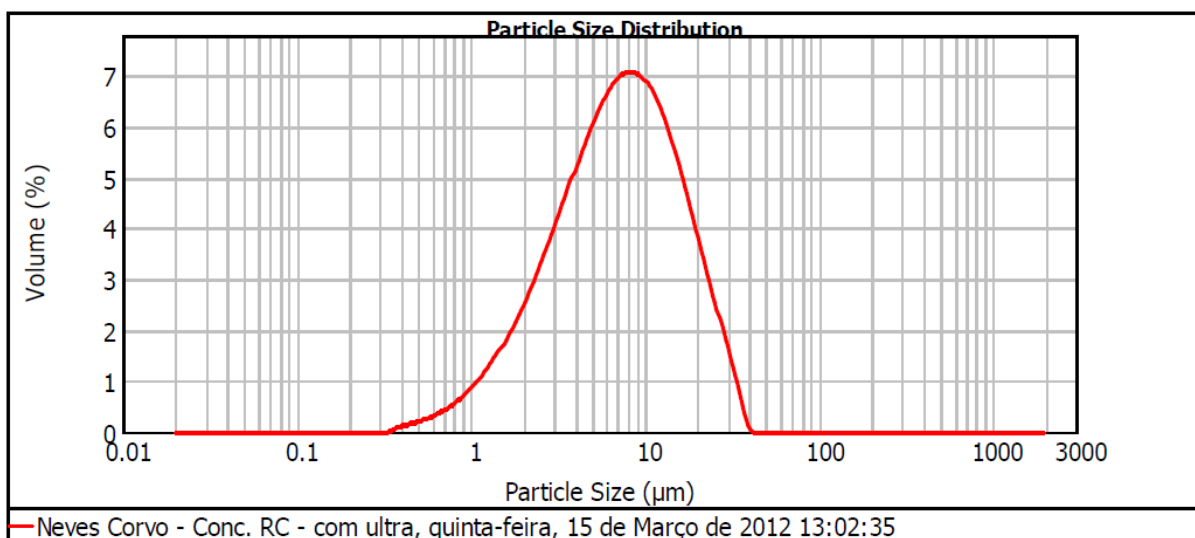


Figura 12 – Curva granulométrica do minério do concentrado de cobre do circuito RC da mina de Neves Corvo.

Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.832	0.62	5.754	6.04	45.709	0.00
0.955	0.81	6.607	6.28	50.000	0.00
1.096	1.02	7.586	6.38	52.481	0.00
1.259	1.28	8.710	6.33	60.256	0.00
1.445	1.58	10.000	6.10	69.183	0.00
1.660	1.92	11.482	5.72	79.433	0.00
1.905	0.76	13.183	5.19	91.201	0.00
2.000	1.55	15.136	4.57	104.713	0.00
2.188	2.74	17.378	3.88	120.226	0.00
2.512	3.21	19.953	3.18	138.038	0.00
2.884	3.71	22.909	2.47	158.489	0.00
3.311	4.23	26.303	1.76	181.970	0.00
3.802	4.75	30.200	1.06	208.930	0.00
4.365	5.25	34.674	0.34	239.883	0.00
5.012	5.68	39.811	0.00	275.423	0.00
5.754		45.709		316.228	0.00

Tabela 15 - Percentagens volumétricas dos diferentes calibres das partículas do minério do concentrado de cobre do circuito RC da mina de Neves Corvo.

No caso do concentrado de cobre proveniente do circuito RC, a granulometria média das partículas encontra-se por volta dos 8µm.

As folhas completas das análises granulométricas encontram-se nos anexos.

3.2 ESTRUTURA GERAL DA METODOLOGIA

O método utilizado foi uma lixiviação dinâmica simples, com aquecimento, seguida de lavagens e filtrações.

Decidimos utilizar como ponto de partida, uma percentagem de sólidos de 25% e um período de lixiviação de 6 horas.

A massa de sólido utilizada por ensaio foi de 50g e foram utilizados 150mL de reagente.

Inicialmente, procedemos à lixiviação num reator de 4 cabeças de 500mL, assente numa base de aquecimento e com um agitador e um condensador de 400mm acoplados à tampa do reator. Introduzidos os 50g de sólido e os 150mL de reagente no reator, iniciava-se a lixiviação, assim como a agitação e o aquecimento da polpa.

Decorridas as 6 horas do ensaio, a polpa era removida e de seguida, filtrada para um kitasato com o auxílio de uma bomba de vácuo, sendo a fase líquida guardada para futuro tratamento. De seguida, o bolo era lavado com água destilada, mantendo-se a percentagem de sólidos igual à da lixiviação. A polpa era agitada durante 20 minutos e posteriormente filtrada. De novo, a fase líquida resultante da lavagem era recolhida e armazenada, para posteriormente tratada. O bolo era lavado uma segunda vez e a polpa resultante era filtrada, procedendo-se à última recolha da fase líquida.



Figura 13 – Fases líquidas da lixiviação e de uma lavagem e o bolo seco após filtração.

As lixiviações inicialmente estavam a ser realizadas numa base de aquecimento (isomanta) mas, devido a problemas de controlo da temperatura, optamos por substituir a base de aquecimento por um banho maria, que permitia controlar a temperatura desejada e no qual, podíamos utilizar um Erlenmeyer fechado.

Contudo, deparamo-nos com outro problema. Desta vez, a tampa do Erlenmeyer não aguentava o aumento de pressão provocado pela expansão dos gases resultante do incremento da temperatura da polpa. A tampa do Erlenmeyer cedia à pressão e, devido à agitação do banho maria, a polpa saía para fora do recipiente.

A solução encontrada passou pela montagem, no banho maria, do reator de 4 cabeças de 500mL, ao qual foram acoplados o condensador de 400mm e o agitador. Deste modo, o material aguentava o aumento da temperatura mas, não era possível colocar a tampa no banho maria, diminuindo a velocidade de aquecimento do mesmo e criando um limite para a temperatura mais baixo que o pretendido.

Por fim, decidimos reduzir à quantidade de material utilizado e usar um Erlenmeyer de 1L de modo a aguentar a expansão dos gases no seu interior. Deste modo também era possível fechar por completo o banho maria, sendo o ensaio realizado com condições bastante mais controladas.

Os licores e as soluções das lavagens eram armazenados em recipientes fechados e o bolo secava exposto ao ar.

Eram enviadas amostras para análise química no LNEG, onde eram analisadas quanto ao teor em Hg e por vezes noutros elementos.

Diferentes ensaios foram realizados, alterando-se a temperatura, o tempo de lixiviação e o reagente utilizado para determinar quais as condições mais eficazes.

3.3 DETALHES DA BANCA DE ENSAIO

Uma vez que se pretendia fazer uma lixiviação dinâmica com aquecimento da polpa, foi preciso montar uma banca de modo a assegurar todas as condições ideais. Inicialmente, foi utilizada uma base de aquecimento, um reator de 4 cabeças, um condensador de 400mm e um agitador. Devido à trepidação causada pela agitação e à instabilidade da base do reator, foi necessário utilizar suportes para agarrarem o condensador de modo a que este não abanasse demasiado e eventualmente partisse.

Segue-se uma imagem do aspeto geral do mecanismo utilizado.

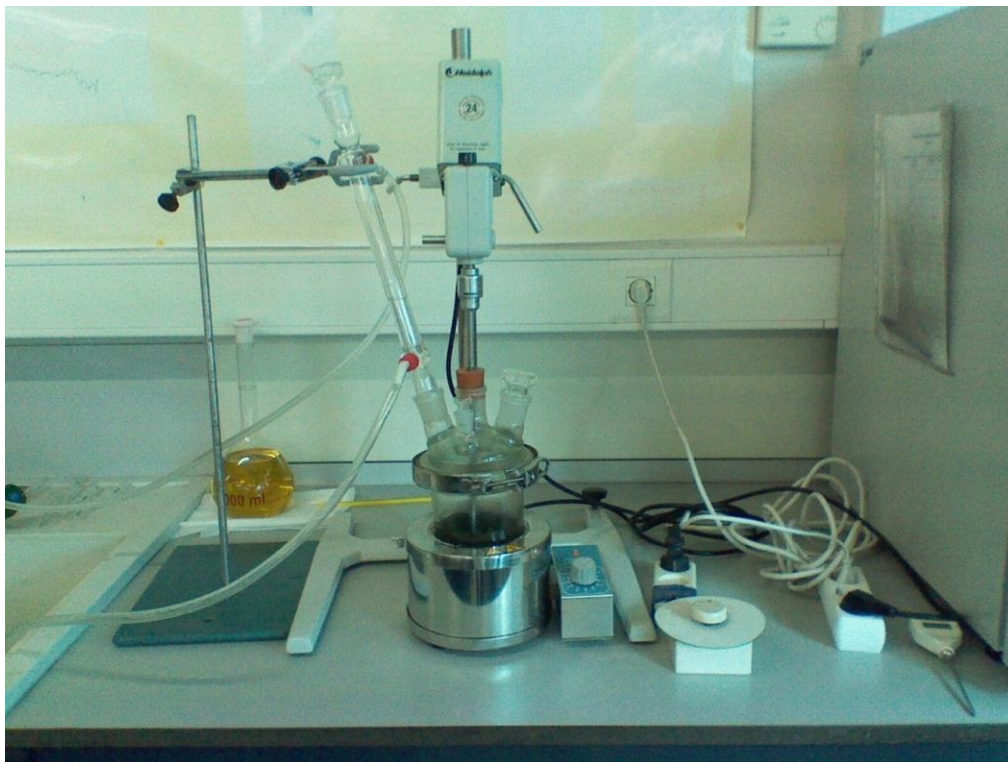


Figura 14 – Aspeto geral da banca montada com a base de aquecimento com resistência variável, o reator de 4 cabeças de 500mL, o condensador de 400mm e o agitador.

Uma vez que a base de aquecimento não tinha uma escala em temperatura, foi necessário utilizar uma resistência variável que permitia estabilizar a temperatura entre valores de 90 a 95°C.

Mais tarde, devido a problemas de evaporação pelo orifício da rolha por onde estava a passar o agitador, fomos obrigados a baixar a temperatura de modo a que esta não ultrapassasse os 70°C.

Para tal, recorremos a um banho maria com agitação segundo uma direção. Contudo, a agitação do banho maria não era a ideal e os Erlenmeyers que possuíamos não eram os mais indicados para aguentar o aumento de pressão no seu interior originada pela expansão dos gases associada ao aumento de temperatura.

Assim sendo, foi necessário montar um novo mecanismo que envolvia todo o material utilizado anteriormente à exceção da base de aquecimento.

Seguem-se duas imagens do aspeto do mecanismo todo montado.



Figura 15 - Aspeto geral da banca montada com o banho maria, o reator de 4 cabeças de 500mL, o condensador de 400mm e o agitador.



Figura 16 – Imagem de outro ângulo do material montado dentro do banho maria.

Deste modo, foi possível estabilizar a temperatura final nos 67°C, evitando assim que o mercúrio fosse volatilizado e escapasse pelo orifício da rolha onde se adaptou o agitador.

Após a análise dos resultados das lixiviações feitas a essa temperatura, apercebemo-nos que o rendimento tinha baixado consideravelmente. Fomos então obrigados a tentar outra solução.

Esta última solução passou pela utilização de Erlenmeyers de maior capacidade (1L) e somente do banho maria e a sua agitação. Reduzindo à quantidade de material no interior dos Erlenmeyers foi possível mantê-los fechados e adequar a velocidade de agitação para não serem criados aglomerados de minério.

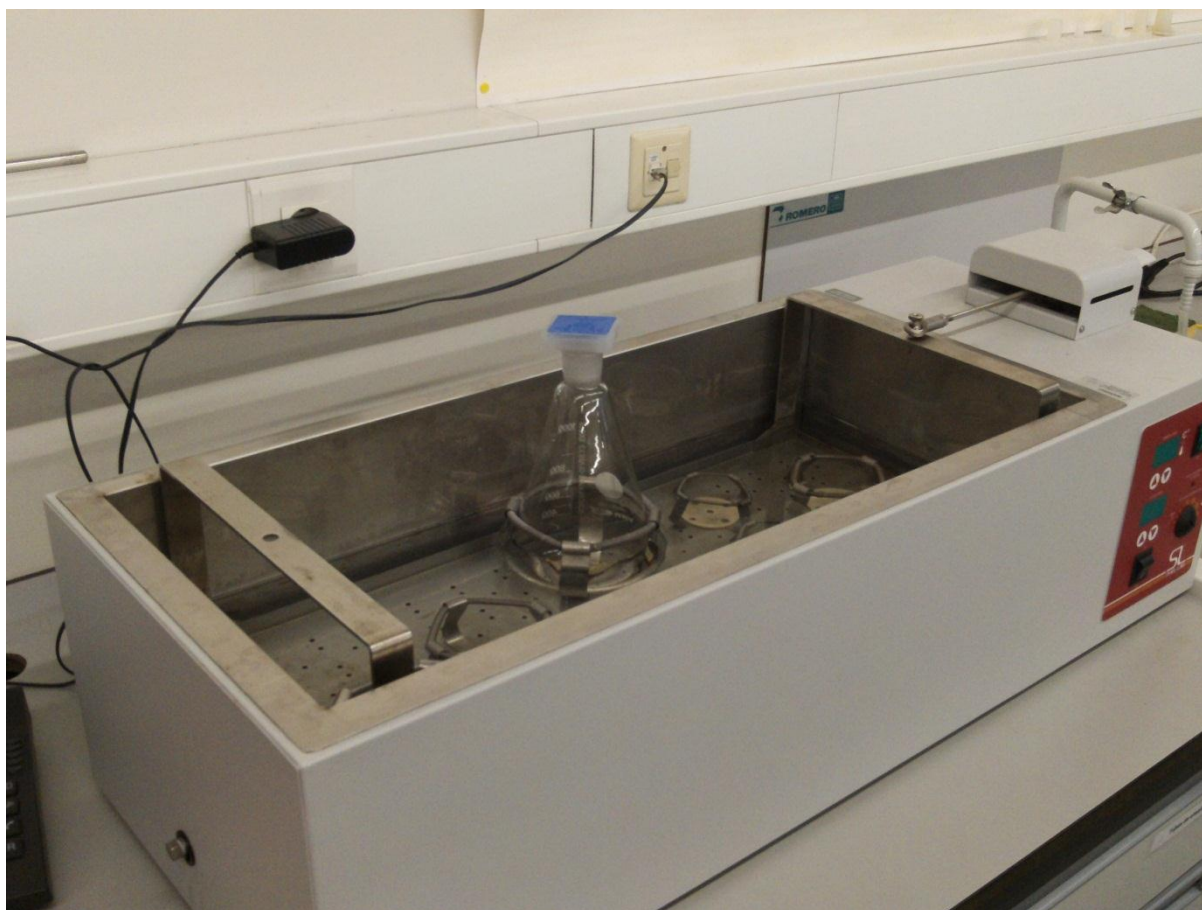


Figura 17 – Banho maria com o Erlenmeyer de 1L devidamente encaixado.

3.4 DETALHES DA FILTRAÇÃO

As filtrações realizadas durante os ensaios laboratoriais desta dissertação foram efetuadas com três equipamentos diferentes, sendo que dois deles se demonstraram pouco eficazes e até mesmo prejudiciais à eficácia dos processos.

No primeiro ensaio realizado, utilizou-se uma filtração normal, recorrendo a um funil, um papel de filtro e um gobelé para recolher o líquido filtrado. Este método foi revelado-se bastante ineficaz por vários motivos.

Uma vez que a polpa a filtrar era constituída por partículas sólidas de granulometrias extremamente finas, estas tapavam os poros do papel de filtro fazendo com que a filtração demorasse mais de 24 horas. Além de que o bolo ficava completamente agarrado ao papel de filtro, perdendo-se uma grande quantidade de material.

Para aumentar a velocidade deste processo, optamos por utilizar uma bomba de vácuo, acoplada ao kitasato. Estava resolvido o problema do excesso de tempo necessário para cada filtração. Contudo, mantinha-se o problema das perdas de material sólido agarrado ao filtro.

Por fim, substituímos o funil por filtro com um recipiente magnético no qual, apenas uma pequena superfície de papel de filtro era utilizada. Este era também acoplado a um kitasato com uma bomba de vácuo fazendo assim com que a filtração demorasse um tempo médio de uma hora e meia para os ensaios com 150mL de reagente e menos de uma hora para os ensaios com 75mL de reagente. As perdas de minério neste processo eram também muito baixas.



Figura 18 – Aspecto geral da filtração com a bomba de vácuo, kitasato e filtro.

3.5 DETALHES DAS LAVAGENS

Todas as lavagens realizadas nos ensaios laboratoriais desta dissertação foram realizadas com as mesmas condições e com o mesmo equipamento.

As lavagens foram realizadas com água destilada e tinham uma duração de 20 minutos. Foi utilizado um agitador que operava a uma velocidade média de modo a desaglomerar o bolo proveniente da etapa anterior. As lavagens foram realizadas inicialmente num gobelé mas, devido a problemas de instabilidade do mesmo, estas passaram a ser feitas num reator aberto com fundo côncavo assente numa isomanta (desligada), para dar a estabilidade necessária ao conjunto.



Figura 19 – Processo de lavagem.

4 Parte Experimental

4.1 MATERIAIS

Uma vez que esta dissertação se baseou na realização de ensaios experimentais, foi necessária a utilização de vários materiais para a realização dos mesmos.

Os materiais utilizados estão referenciados na listagem que se segue.

- Agitador mecânico de um braço com 4 pás da marca Heidolph
- Água destilada
- Balança digital
- Balões volumétricos de 1L
- Balões volumétricos de 250mL
- Banho maria com agitação da marca Shel Lab
- Bomba de vácuo
- Condensador de 400mm
- Erlenmeyers de 1L
- Erlenmeyers de 250mL
- Espátulas
- Filtro magnético
- Funis
- Hipoclorito de sódio (líquido) da marca VWR
- Hidróxido de sódio (sólido) da marca Panreac
- Isomantas da marca Raypa
- Kitasatos
- Medidor de pH da marca inoLab
- Minério do concentrado da lavaria de cobre
- Minério do concentrado de cobre do circuito RC

- Papéis de filtro
- Provetas graduadas de 250mL
- Reatores de 500mL com 4 cabeças e fundo côncavo
- Sulfureto de sódio tri-hidratado (sólido) da marca VWR
- Suportes com braços reguláveis
- Termómetro digital
- Termómetro com coluna de mercúrio graduado
- Vidros de relógio

4.2 MÉTODO DE ANÁLISE QUÍMICA

Após a realização de cada ensaio, era recolhida uma amostra de cada uma das fases líquidas assim como uma amostra do bolo resultante. Essas amostras eram posteriormente enviadas para o LNEG para serem sujeitas a uma análise química.

Devido a resultados negativos no cálculo de alguns rendimentos de lixiviação, foram enviadas juntamente com as amostras resultantes dos ensaios, uma amostra de minério por lixiviar, recolhido ao mesmo tempo que era preparada a amostra para o ensaio.

As análises realizadas sobre as amostras, eram feitas através dos métodos espectrometria de absorção atômica com vapor frio (EAA-VF) e espectrometria de absorção atômica com chama (EAAC).

4.3 PREPARAÇÃO DOS REAGENTES

4.3.1 SOLUÇÃO DE HIDRÓXIDO DE SÓDIO E SULFURETO DE SÓDIO

Pretendia-se obter uma solução de 1L com uma concentração de 10g/L de hidróxido de sódio e 100g/L de sulfureto de sódio. Uma vez que o sulfureto de sódio existente era tri-hidratado, foi necessário determinar a quantidade do mesmo, para se diluir e obter a concentração final desejada.

Tendo em consideração a massa molecular do sulfureto de sódio tri-hidratado, procedemos a uma relação com a massa de sulfureto de sódio existente no mesmo e determinamos a massa necessária para se preparar uma solução com uma concentração em Na_2S de 100g/L.

Desse cálculo retiramos que a quantidade de $\text{Na}_2\text{S} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ necessária para se obter uma concentração de 100g/L em Na_2S era de 169,2g.

Pesaram-se 10g de NaOH e 169,2g de $\text{Na}_2\text{S} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ e adicionou-se água destilada até perfazer um litro de solução.



Figura 20 – Hidróxido de sódio e sulfureto de sódio respetivamente no estado sólido.

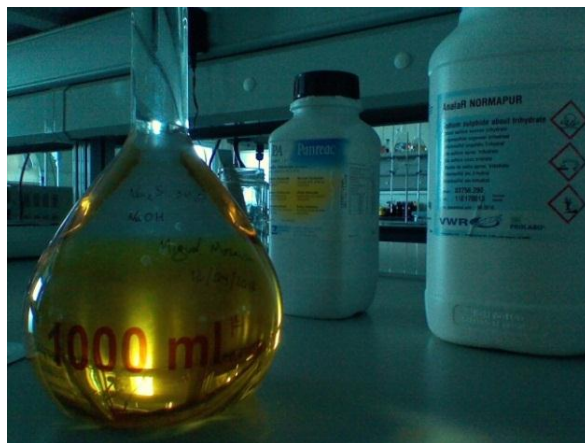


Figura 21 – Reagente de com 100g/L de sulfureto de sódio e 10g/L de hidróxido de sódio.

4.3.2 SOLUÇÃO DE HIPOCLORITO DE SÓDIO

Pretendia-se obter uma solução de 500mL com uma concentração em hipoclorito de sódio de 150g/L. Uma vez que possuíamos hipoclorito de sódio líquido, só foi necessário fazer uma cálculo para a determinação da massa de hipoclorito a utilizar.

Desse cálculo obtivemos um valor de 75g, os quais foram pesados e diluídos até perfazer uma solução com 500mL de volume.

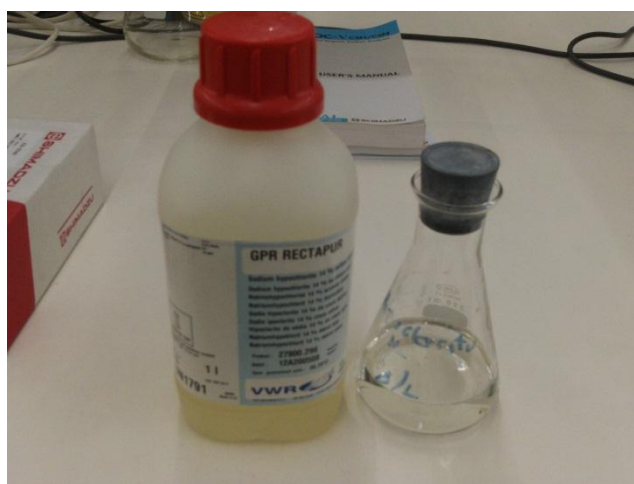


Figura 22 – Hipoclorito de sódio e reagente com 150g/L do mesmo.

4.4 ENSAIOS COM SULFURETO DE SÓDIO E HIDRÓXIDO DE SÓDIO

4.4.1 LIXIVIAÇÃO DE 6 HORAS A 90°C EM BA COM REATOR ABERTO

Este ensaio foi realizado tanto para o minério do concentrado da lavaria de cobre como para o minério do concentrado de cobre do circuito RC. Os parâmetros experimentais utilizados encontram-se nas tabelas que se seguem.

Solução de lixiviação	
Concentração em Na ₂ S	100g/L
Concentração em NaOH	10g/L
Volume de solução	150mL

Tabela 16 – Propriedades da solução de lixiviação utilizada.

Lixiviação	
Massa de minério	50g
Percentagem de sólidos (mássica)	25%
Duração	6 horas
Temperatura inicial	25°C
Temperatura final	90°C

Tabela 17 – Condições da lixiviação.

Decorridas as 6 horas, retirava-se a polpa do reator e procedia-se à filtração da mesma com o auxílio de uma bomba de vácuo. Este processo demorou aproximadamente uma hora.

Acabada a filtração, a fase líquida era recolhida, medida e armazenada para posterior análise. A fase sólida era sujeita à primeira lavagem que era realizada com as seguintes condições.

Lavagens	
Fase líquida	H ₂ O destilada
Massa de minério	50g
Percentagem de sólidos	25%
Duração	20 minutos

Tabela 18 – Condições das lavagens.

Passados os 20 minutos, a polpa era filtrada de novo e procedia-se à recolha, medição e armazenamento da fase líquida para posterior análise. O bolo era sujeito a uma nova lavagem com as mesmas condições da anterior.

O resíduo após secagem, era enviado para análise química, assim como o licor das soluções de lavagem.

Os resultados das análises realizadas à fase sólida estão representados na tabela seguinte.

Amostra	Ag (ppm)	Cu (%)	Fe (%)	Zn (%)	As (%)	Sb (%)	Hg (ppm)	Pb (%)	Sn (%)	S (%)
1	69	26	31	3,7	0,23	0,23	40	0,74	0,20	29
2	359	18,67	28	4,53	0,43	0,49	118,67	1,67	0,25	29,33
3	67	25	30	3,6	0,20	⁻⁴	44	0,67	0,18	26
4	358	20	30	4,9	0,34	-	68	1,6	0,25	30

Tabela 19 – Composição em percentagem das diferentes amostras. 1 – Minério original do concentrado da lavaria de cobre; 2 – Minério original do concentrado de cobre do circuito RC; 3 – Minério do concentrado da lavaria de cobre após o ensaio; 4 – Minério do concentrado de cobre do circuito RC após o ensaio.

As amostras 1 e 2 correspondem, respetivamente, ao minério do concentrado da lavaria de cobre e ao minério do concentrado de cobre do circuito RC antes de serem lixiviados. A amostra 3 corresponde ao resíduo da lixiviação ao minério do concentrado da lavaria de cobre e a amostra 4 corresponde ao resíduo da lixiviação ao minério do circuito RC.

Admitindo que não houve variação significativa da massa total da matéria sólida, calculamos o rendimento da lixiviação para os diferentes elementos analisados e elaboramos a seguinte tabela:

⁴ Este elemento não foi analisado no resíduo resultante dos ensaios.

		Ag	Cu	Fe	Zn	As	Sb ⁵	Hg	Pb	Sn	S
η Lixiviação ⁶	Conc. Cobre	2,90	3,85	3,23	2,70	13,04	—	-10,0	9,46	10,00	10,34
	Circuito RC	0,28	-6,95	-7,14	-8,09	20,93	—	42,70	4,00	0,00	-2,27

Tabela 20 – Percentagens de cada elemento lixiviadas nos dois tipos de minério.

Analisando a tabela, tiramos as seguintes conclusões:

- No concentrado da lavaria de cobre, não houve lixiviação do mercúrio;
- No concentrado de cobre do circuito RC, o mercúrio foi lixiviado, tendo-se obtido um rendimento de aproximadamente 43% para este elemento;
- Não existiram perdas significativas de cobre nem de zinco em ambos os minérios.

Foram também realizadas análises químicas ao licor da lixiviação e às soluções das lavagens realizadas sobre o minério do circuito RC. Estas análises só foram realizadas para este minério uma vez que as análises ao bolo do concentrado da lavaria revelaram que não houve lixiviação para este. Os resultados obtidos estão apresentados na tabela que se segue.

Amostra	Hg (ppm)
1ª Lavagem	<0,002
2ª Lavagem	<0,002
Lixiviação	0,6

Tabela 21 – Concentrações de mercúrio nas diferentes fases líquidas resultantes dos ensaios.

Olhando para os valores obtidos nas análises às fases líquidas, podemos afirmar que não houve extração significativa nas lavagens.

Comparando o teor do resíduo com o teor do minério inicial, questionamo-nos sobre o que poderá ter acontecido ao mercúrio durante o processo.

⁵ Uma vez que o antimónio não foi analisado nas amostras do resíduo das lixiviações, não foi possível calcular o rendimento para este elemento.

⁶ Os valores negativos são atribuídos a erros analíticos, uma vez que estamos a trabalhar com valores muito reduzidos

Como o mercúrio tem uma temperatura de volatilização de 25°C, uma hipótese aceitável para o baixo valor da sua concentração no licor é que este se tenha volatilizado e escapado do reator pelo orifício da rolha por onde passava o agitador uma vez que, esta possuía alguma folga de modo a não interferir com o agitador.

Outro facto que nos permite admitir tal hipótese relaciona-se com as elevadas perdas da fase líquida durante as lixiviações. Mesmo utilizando o condensador, não foi possível recuperar a totalidade da fase líquida.

No ensaio realizado sobre o concentrado da lavaria de cobre, a lixiviação foi realizada com 150mL de solução e foram recuperados somente 47mL. Considerando que esta foi realizada a uma temperatura de 90°C e existia um orifício pelo qual era possível a fuga de gases, a teoria de que o mercúrio se libertou segundo a forma gasosa, parece bastante plausível.

O mesmo aconteceu para o concentrado de cobre do circuito RC, onde a lixiviação começou com 150mL de reagente e no fim da operação, foram recolhidos apenas 65mL do mesmo.

É preciso ter também em consideração, que o bolo não secava completamente, contendo alguma humidade. De qualquer das formas, este facto não justifica perdas tão elevadas da fase líquida.

Quantificando o Hg dissolvido no minério do concentrado de cobre do circuito RC:

$$\text{Hg inicial} \rightarrow 118,67\text{ppm} \times 50\text{g} = 5,93\text{mg}$$

$$\text{Hg resíduo} \rightarrow 68\text{ppm} \times 50\text{g} = 3,4\text{mg}$$

Daqui retiramos que a quantidade de Hg dissolvido foi de 2,53mg. Esta devia ser a quantidade de Hg presente no licor.

$$\text{Concentração esperada para o licor} \rightarrow \frac{2,53\text{mg}}{150\text{mL}} \times 1000\text{mL} = 16,87\text{mg/L}$$

Admitindo que não se teria perdido licor, a concentração deste devia ser de 16.87mg/L.

Comparando a concentração esperada para o licor com a concentração obtida, verificamos que o mercúrio não se encontra na fase líquida. Assim sendo, a hipótese de que este se volatilizou, torna-se evidente.

4.4.2 LIXIVIAÇÃO DE 6 HORAS A 70°C EM BA E BM COM REATOR ABERTO

Para esta lixiviação, foram utilizados os mesmos parâmetros que na anterior mas, foi alterada a temperatura do processo e tratamos apenas o minério do circuito RC uma vez que, a quantidade de mercúrio presente no minério do concentrado da lavaria de cobre era muito reduzida e não se conseguiu lixiviar mercúrio nenhum com este reagente. Assim sendo, foi realizada uma lixiviação com as seguintes condições operacionais.

Solução de lixiviação	
Concentração em Na ₂ S	100g/L
Concentração em NaOH	10g/L
Volume de solução utilizado	150mL

Tabela 22 – Propriedades da solução de lixiviação utilizada.

Lixiviação	
Massa de minério	50g
Percentagem de sólidos	25%
Duração	6 horas
Temperatura inicial	25°C
Temperatura final	~ 65°C

Tabela 23 – Condições operatórias da lixiviação.

Este ensaio foi realizado numa base de aquecimento mas, uma vez que este equipamento não permitia um controlo preciso da temperatura, esta oscilou bastante entre os 60 e os 75°C. Aquando deste ensaio, ainda não tínhamos acesso às análises das fases líquidas do ensaio anterior, pelo que, foram realizadas duas lavagens na mesma.

Lavagens	
Fase líquida	H ₂ O destilada
Massa de minério	50g
Percentagem de sólidos	25%
Duração	20 minutos

Tabela 24 – Parâmetros das lavagens.

Devido a complicações associadas à realização da análise da fase líquida, só foi analisada a fase sólida estando os resultados presentes na tabela que se segue.

Hg (ppm)	Cu (%)	Fe (%)	Pb (%)	Zn (%)	S (%)
95,0	18,0	30,0	1,7	4,3	31,0

Tabela 25 – Resultados da análise química ao minério após o ensaio.

Fazendo uma comparação dos valores obtidos com os valores iniciais, elaboramos uma tabela que permite verificar a percentagem de cada elemento que foi lixiviada.

η Lixiviação ⁷	Cu	Fe	Zn	Hg	Pb	S
	3,57	-7,14	5,15	19,94	-2	-5,68

Tabela 26 – Percentagem lixiviada dos diferentes elementos.

Fazendo uma quantificação de Hg lixiviado:

$$\text{Hg inicial} \rightarrow 118,67\text{ppm} \times 50\text{g} = 5,93\text{mg}$$

$$\text{Hg resíduo} \rightarrow 95\text{ppm} \times 50\text{g} = 4,75\text{mg}$$

$$\text{Hg dissolvido} \rightarrow 5,93\text{mg} - 4,75\text{mg} = 1,18\text{mg}$$

Concluimos assim que a lixiviação a esta temperatura baixa o rendimento da mesma para aproximadamente metade quando comparada com a lixiviação a 90°C. A lixiviação do Hg teve um rendimento de aproximadamente 43% a 90°C e neste ensaio passou para apenas 20%.

⁷ O valor negativo é atribuído a erros analíticos de leitura.

Como o controlo da temperatura não tinha sido muito rigoroso, ponderamos até que ponto este facto tinha influenciado o rendimento da lixiviação. Assim sendo, o ensaio foi repetido, utilizando o banho maria para controlar a temperatura. Uma vez que foi necessário montar todo o equipamento experimental dentro do banho maria, não foi possível colocar a tampa do mesmo. Como consequência, o tempo de aquecimento foi demorado e a temperatura estabilizou nos 67°C.

As concentrações dos diferentes elementos presentes na fase sólida após o tratamento encontram-se na tabela seguinte.

Hg (ppm)	Cu (%)	Fe (%)	Pb (%)	Zn (%)	S (%)
94,0	16,0	25,0	1,5	4,3	30,0

Tabela 27 – Resultados da análise química ao minério após o ensaio.

Comparando estes valores com os valores da amostra inicial, elaboramos uma tabela com a percentagem de minério lixiviado neste ensaio.

η Lixiviação	Cu	Fe	Zn	Hg	Pb	S
	14,29	10,71	7,15	20,79	10,00	-2,27 ⁸

Tabela 28 – Percentagem lixiviada de cada elemento.

Quantificando o Hg lixiviado:

$$\text{Hg inicial} \rightarrow 118,67\text{ppm} \times 50\text{g} = 5,93\text{mg}$$

$$\text{Hg resíduo} \rightarrow 94\text{ppm} \times 50\text{g} = 4,7\text{mg}$$

$$\text{Hg dissolvido} \rightarrow 5,93\text{mg} - 4,75\text{mg} = 1,23\text{mg}$$

Analisando os valores obtidos, concluímos que a fraca eficácia do processo se deve à baixa temperatura a que o ensaio foi realizado e que a regulação da temperatura no banho maria e na base de aquecimento, não influencia o rendimento do processo. Olhando para os restantes elementos, verificamos que houve lixiviação de cobre, fenómeno que não pretendíamos que acontecesse uma vez que o objetivo era purificar o concentrado de cobre.

⁸ Valor negativo devido a erros de leitura que se encontravam na ordem de 17% por defeito na leitura do enxofre.

4.4.3 LIXIVIAÇÃO DE 12 HORAS A 90°C EM BA COM REATOR ABERTO

Neste ensaio, pretendia-se ver de que modo, o aumento do tempo de lixiviação, influenciava o rendimento da operação. Para tal, foi utilizado um reator de 500mL, um agitador, um condensador e uma base de aquecimento com uma resistência variável, sendo as condições operatórias, as apresentadas nas tabelas seguintes.

Solução de lixiviação	
Concentração em Na ₂ S	100g/L
Concentração em NaOH	10g/L
Volume utilizado	150mL

Tabela 29 – Características da solução utilizada.

Lixiviação	
Massa de minério	50g
Percentagem de sólidos	25%
Duração	12 horas
Temperatura inicial	23°C
Temperatura final (pretendida)	90°C

Tabela 30 – Condições operatórias da lixiviação.

Este ensaio durou as 12 horas contudo, a temperatura final ultrapassou os 130°C (era o máximo que o termómetro marcava e a coluna de mercúrio continuava a aumentar). Este acontecimento resultou numa perda total da fase líquida que, escapou por evaporação através do orifício da rolha por onde passava o braço do agitador. Ainda assim, o resíduo da lixiviação foi enviado para análise química.

Aquando da realização deste ensaio, foi retirada uma amostra de 100g do minério original que, foi dividida em duas partes. Metade foi para análise química para controlar os teores originais e a outra foi utilizada no ensaio.

Os resultados das análises estão apresentados na tabela 31.

	Amostra	Hg ppm	Cu %	Fe %	Pb %	Zn %	S % inform.
Sólido	Na ₂ S-Orig	131	17	27	1,7	4,4	28
	Na ₂ S-Lix	40	12	19	1,1	2,5	26

Tabela 31 – Concentrações dos elementos presentes no minério antes e após o ensaio.

A partir dos teores, construímos uma tabela com o rendimento da lixiviação para cada elemento.

η lixiviação	Hg	Cu	Fe	Pb	Zn	S
	69,4656	29,4118	29,6296	35,2941	43,1818	7,1429

Tabela 32 – Percentagem lixiviada de cada elemento.

Olhando para os valores da tabela anterior, é possível concluir que, apesar do ensaio não ter decorrido conforme o planeado, este foi o que apresentou valores mais interessantes no que respeita à remoção de mercúrio, tendo o rendimento da lixiviação sido de aproximadamente 70% para este elemento.

Massa de mercúrio lixiviada:

$$\text{Hg inicial} \rightarrow 131\text{ppm} \times 50\text{g} = 6,55\text{mg}$$

$$\text{Hg resíduo} \rightarrow 40\text{ppm} \times 50\text{g} = 2,00\text{mg}$$

$$\text{Hg lixiviado} \rightarrow 6,55\text{mg} - 2,00\text{mg} = 4,55\text{mg}$$

A esta temperatura lixiviam-se todos os elementos, o que não representa grande interesse uma vez que o cobre também foi lixiviado.

4.4.4 LIXIVIAÇÃO DE 6 HORAS A 70°C EM BM COM ERLENMEYER FECHADO

Este ensaio foi programado para decorrer segundo as seguintes condições operatórias:

Solução de lixiviação	
Concentração em Na ₂ S	100g/L
Concentração em NaOH	10g/L
Volume utilizado	150mL

Tabela 33 – Propriedades da solução utilizada.

Lixiviação	
Massa de minério	50g
Percentagem de sólidos	25%
Duração (pretendida)	6 horas
Temperatura inicial	23°C
Temperatura final (pretendida)	70°C

Tabela 34 – Parâmetros utilizados na lixiviação.

Neste ensaio, o reator de lixiviação foi um Erlenmeyer de 250mL fechado com uma rolha de borracha. Este foi introduzido no banho maria com agitação forte, para impedir a aglomeração do minério.

Ao fim de aproximadamente 2 horas, o ensaio acabou pois, a pressão criada dentro do Erlenmeyer foi tão elevada que fez saltar a rolha e a polpa se espalhou pelo banho maria.

Este ensaio foi realizado apesar de termos alguma suspeita de que a tampa do recipiente não aguentasse a pressão criada no seu interior pois, pretendíamos que o reator estivesse completamente fechado para evitar a perda da fase gasosa criada.

4.4.5 LIXIVIAÇÃO DE 6 HORAS A 90°C EM BM COM ERLENMEYER FECHADO

Devido à necessidade de realizarmos os ensaios em recipientes completamente estanques, realizamos este ensaio, no qual reduzimos a quantidade de material, mantendo a relação sólidos líquidos. Utilizamos também um Erlenmeyer de maiores dimensões de modo a que este aguentasse o aumento de pressão resultante do aquecimento da polpa. Este ensaio decorreu com os parâmetros enunciados nas tabelas que se seguem.

Solução de lixiviação	
Concentração em Na ₂ S	100g/L
Concentração em NaOH	10g/L
Volume utilizado	75mL

Tabela 35 – Propriedades da solução de lixiviação utilizada.

Lixiviação	
Massa de minério	25g
Percentagem de sólidos	25%
Duração	6 horas
Temperatura inicial	25°C
Temperatura final	90°C

Tabela 36 – Condições operatórias da lixiviação.

No fim da lixiviação, quando retiramos a tampa do banho maria, a tampa do Erlenmeyer saltou, libertando uma grande quantidade de vapor. Ainda assim, procedemos a uma filtração na qual, foram recolhidos somente 60mL.

O ensaio prosseguiu fazendo-se uma lavagem com os seguintes parâmetros:

Lavagem	
Fase líquida	H ₂ O destilada
Massa de minério	25g
Percentagem de sólidos	25%
Duração	20 minutos

Tabela 37 – Parâmetros da lavagem.

Esta lavagem também não correu bem pois, houve uma aglomeração de material sólido junto a uma das pás do agitador, pondo em causa a eficiência da lavagem. Dos 75mL de água destilada utilizados, foram recolhidos 73mL após a filtração.

A massa sólida recuperada no fim do ensaio foi de 23,49g tendo o restante ficado encrostado no reator e no recipiente usado na filtração, servindo este ensaio para se verificar que não há variações significativas na massa do sólido utilizado.

Uma vez que nos deparamos com problemas tanto na lixiviação como na lavagem, optamos por não mandar as amostras deste ensaio para análise e repetimos o ensaio, eliminando os erros cometidos.

4.4.6 LIXIVIAÇÃO DE 6 HORAS A 90°C EM BM COM ERLLENMEYER FECHADO

Este ensaio foi realizado com o material do ensaio anterior e optamos também por pré aquecer o banho maria de modo a que este se encontrasse perto da temperatura de lixiviação pretendida.

O ensaio decorreu com os seguintes parâmetros:

Solução de lixiviação	
Concentração em Na ₂ S	100g/L
Concentração em NaOH	10g/L
Volume utilizado	75mL

Tabela 38 – Propriedades da solução utilizada.

Lixiviação	
Massa de minério	25g
Percentagem de sólidos	25%
Duração	6 horas
Temperatura inicial (BM)	67,5°C
Temperatura final	88,2°C

Tabela 39 – Condições da lixiviação.

Após a lixiviação, o material foi mantido dentro do Erlenmeyer durante 25 minutos até que a temperatura atingisse os 35°C e a pressão no seu interior reduzisse bastante.

Procedeu-se a uma filtração com uma bomba de vácuo da qual se recuperaram 56mL de solução e o bolo já seco foi sujeito a uma lavagem com os parâmetros descritos na tabela que se segue.

Lavagem	
Fase líquida	H ₂ O destilada
Massa de bolo	25g
Percentagem de sólidos	25%
Duração	20 minutos

Tabela 40 – Parâmetros da lavagem.

A polpa resultante foi de novo filtrada, de onde foram recolhidos 60mL de solução.

O bolo e a fase líquida resultante da lixiviação foram enviados para análise química de onde obtivemos os seguintes resultados relativos ao mercúrio:

Amostra	ppm Hg
Na ₂ S - resíduo	96
Na ₂ S- lix (licor)	3,8x10 ⁻³

Tabela 41 – Resultados da análise química ao mercúrio presente na fase líquida e na fase sólida após o ensaio.

Calculando a quantidade de mercúrio lixiviada:

$$\text{Hg inicial} \rightarrow 118,67\text{ppm} \times 25\text{g} = 2,97\text{mg}$$

$$\text{Hg resíduo} \rightarrow 96\text{ppm} \times 25\text{g} = 2,4\text{mg}$$

$$\text{Hg dissolvido} \rightarrow 2,97\text{mg} - 2,4\text{mg} = 0,57\text{mg}$$

Comparando o valor da análise ao resíduo com o valor da concentração de mercúrio na amostra inicial, verificamos que o rendimento da lixiviação foi de aproximadamente 19,10%. Este valor é bastante baixo, tendo em conta que se realizou um ensaio com as mesmas condições à exceção da estanqueidade do recipiente e o tempo de arrefecimento da polpa, onde foram obtidos valores de 43%. Além deste problema, verifica-se que, apesar da lixiviação ter sido feita num recipiente fechado, o pouco mercúrio lixiviado não se encontra na fase líquida. Esta afirmação é comprovada comparando os valores da concentração do licor obtida com a concentração esperada.

$$\text{Concentração esperada para o licor} \rightarrow \frac{0,57\text{mg}}{75\text{mL}} \times 1000\text{mL} = 7,60\text{mg/L.}$$

Comparando o valor anterior com o valor obtido na análise química, facilmente se verifica que o mercúrio não se encontra na fase líquida.

4.4.7 LIXIVIAÇÃO DE 12 HORAS A 90°C EM BM COM ERLNMEYER FECHADO

Uma vez que conseguimos realizar os ensaios sem existirem perdas de gases durante os mesmos, procedemos a um ensaio para verificar de que modo, a variação do tempo de lixiviação, afetava o rendimento da mesma. A lixiviação decorreu com os seguintes parâmetros:

Solução de lixiviação	
Concentração em Na ₂ S	100g/L
Concentração em NaOH	10g/L
Volume utilizado	75mL

Tabela 42 – Características da solução utilizada.

Lixiviação	
Massa de minério	25g
Percentagem de sólidos	25%
Duração	12 horas
Temperatura inicial	81,9°C
Temperatura final	90,2°C

Tabela 43 – Parâmetros da lixiviação realizada.

Na tentativa de minorar o escape da fase gasosa existente dentro do recipiente, aguardamos aproximadamente 20 minutos para que a polpa arrefecesse. Desse modo, promovia-se a condensação do vapor e a diminuição de pressão dentro do Erlenmeyer. Após o arrefecimento da polpa, esta foi filtrada tendo-se recuperado 65mL de solução.

De seguida, o bolo foi lavado e filtrado de acordo com as condições descritas na tabela, tendo-se recuperado 68mL de solução.

Lavagem	
Fase líquida	H ₂ O destilada
Massa do bolo	25g
Percentagem de sólidos	25%
Duração	20 minutos

Tabela 44 – Condições da lavagem da polpa.

O resíduo e o licor da lixiviação foram então enviados para análise química tendo-se obtido os seguintes resultados referentes ao mercúrio:

Amostra	Hg
Na ₂ S resíduo	73 ppm
Na ₂ S licor	3,0 ppb

Tabela 45 – Teores em mercúrio do resíduo e licor da lixiviação

Comparando o teor do minério original com o teor do resíduo, verificamos que tivemos um rendimento relativo de 38,5%.

Quantificação de mercúrio removido:

$$\text{Hg inicial} \rightarrow 118,67\text{ppm} \times 25\text{g} = 2,97\text{mg}$$

$$\text{Hg resíduo} \rightarrow 73\text{ppm} \times 25\text{g} = 1,83\text{mg}$$

$$\text{Hg dissolvido} \rightarrow 2,97\text{mg} - 1,83\text{mg} = 1,14\text{mg}$$

Verificando a teor de mercúrio no licor da lixiviação, reparamos que o valor era muito baixo e que, mais uma vez, apesar do Erlenmeyer se encontrar fechado, o mercúrio passa para a fase gasosa.

$$\text{Concentração esperada para o licor} \rightarrow \frac{1,14\text{mg}}{75\text{mL}} \times 1000\text{mL} = 15,2\text{mg/L}.$$

Como é possível verificar pela equação anterior, a concentração de Hg no licor, devia ser muito superior à obtida.

4.5 ENSAIOS COM HIPOCLORITO DE SÓDIO

Uma vez que, durante a pesquisa bibliográfica, encontramos uma fonte na qual era referido o ataque do mercúrio utilizando cloro, decidimos experimentar lixiviar o minério com uma solução de hipoclorito de sódio.

4.5.1 LIXIVIAÇÃO DE 6 HORAS A 90°C EM BM COM REATOR ABERTO

Este ensaio foi realizado segundo as condições apresentadas nas tabelas que se seguem.

Solução de lixiviação	
Concentração em NaClO	150g/L
Volume utilizado	150mL

Tabela 46 – Propriedades da solução utilizada.

Lixiviação	
Massa de minério	50g
Percentagem de sólidos	25%
Duração	6 horas
Temperatura inicial	22°C
Temperatura final	60°C

Tabela 47 – Parâmetros da lixiviação.

Neste ensaio, foi utilizado um agitador mecânico mas, contrariamente ao costume, não houve uma homogeneização da polpa, tendo-se criado uma aglomeração de fase sólida em torno das pás do agitador. Como resultado da aglomeração da fase sólida, a superfície livre desta, diminuiu drasticamente, impedindo o contacto do minério com o agente lixiviante. Este acontecimento levou a uma lixiviação quase nula de mercúrio, bem como dos restantes elementos.

No fim da lixiviação, foi possível observar a formação de espuma acastanhada, o que levou ao levantamento da possibilidade de se estar a flutuar algum sulfureto, nomeadamente, alguma blenda. Após a lixiviação, o bolo foi lavado e filtrado duas vezes de acordo com os parâmetros da tabela apresentada.

Lavagens	
Fase líquida	H ₂ O destilada
Massa de minério	50g
Percentagem de sólidos	25%
Duração	20 minutos

Tabela 48 – Parâmetros da 1ª lavagem.

As análises químicas feitas às fases líquidas (licor da lixiviação e da solução da 1ª lavagem) não mostraram concentrações significativas dos elementos pretendidos, como pode ser verificado na tabela 49.

	Amostra	Hg ppm	Cu %	Fe %	Pb %	Zn %	S % inform.
Líquido	NaClO-Lix	75 ppb	0,021	<0,00014	0,01	0,099	-
	NaClO-Lav	< 2 ppb	0,0033	0,002	0,006	0,027	-
Sólido	NaClO-Orig	123	19	26	1,7	4,2	29
	NaClO-Lix	125	19	28	1,6	3,7	29

Tabela 49 – Concentrações dos diferentes elementos no minério antes e após o ensaio e na fase líquida da lixiviação e da lavagem.

Fazendo um cálculo com base nos resultados obtidos nas análises às amostras das fases sólidas, obtivemos a tabela que se segue.

η lixiviação ⁹	Amostra	Hg ppm	Cu %	Fe %	Pb %	Zn %	S % inform.
	NaClO	-1,6260	0,0000	-7,6923	5,8824	11,9048	0,0000

Tabela 50 – Quantidade em percentagem lixiviada para cada elemento.

⁹ Os valores negativos devem-se a erros analíticos de medição.

Como é possível verificar, não existiu lixiviação de mercúrio, tendo-se apenas lixiviado algum chumbo e zinco.

A diminuição do teor em zinco no resíduo da lixiviação pode não ser o resultado de lixiviação mas sim de flutuação, pois há a suspeita de que a espuma acastanhada criada na superfície da polpa seja originada pela flutuação das blendas. Neste caso, estaria justificada a diminuição do teor em zinco durante o ensaio.

Por curiosidade, mediu-se o pH da solução de lixiviação e verificou-se que este era de 11,79 a 19,3°C, estando assim no intervalo de pH característico da flutuação das blendas.

4.5.2 LIXIVIAÇÃO DE 6 HORAS A 90°C EM BM COM ERLNMEYER FECHADO

Este ensaio foi precisamente igual ao ensaio anteriormente referido à exceção do reator utilizado. As condições de lixiviação estão apresentadas nas tabelas que se seguem.

Solução de lixiviação	
Concentração em NaClO	150g/L
Volume utilizado	75mL

Tabela 51 – Características do reagente utilizado.

Lixiviação	
Massa de minério	25g
Percentagem de sólidos	25%
Duração	6 horas
Temperatura inicial	67,5°C
Temperatura final	88,2°C

Tabela 52 – Parâmetros operatórios da lixiviação.

No fim da lixiviação, procedemos a uma filtração à polpa, da qual recolhemos 62mL de solução.

O bolo, já seco, foi sujeito a uma lavagem com as seguintes condições:

Lavagem	
Fase líquida	H ₂ O destilada
Massa de bolo	25g
Percentagem de sólidos	25%
Duração	20 minutos

Tabela 53 – Condições operatórias da lavagem.

Após a lavagem, procedemos a uma nova filtração de onde se recuperaram 70mL de solução. O bolo e o licor da lixiviação foram enviados para uma análise química das quais se obtiveram os seguintes resultados referentes ao mercúrio:

AMOSTRA	ppm Hg
Hipoclorito - sólido	128
Hipoclorito – lix (licor)	$< 2,7 \times 10^{-3}$

Tabela 54 – Concentrações de mercúrio no resíduo e licor da lixiviação.

Comparando o teor em Hg inicial com o teor do resíduo, verifica-se que obtemos um rendimento de lixiviação de -7,86%. Este valor deve-se a erros de medição contudo, podemos afirmar que o mercúrio não foi lixiviado.

4.5.3 LIXIVIAÇÃO DE 6 HORAS A 30°C EM BM COM ERLLENMEYER FECHADO

De modo a observar os efeitos da variação da temperatura na lixiviação com a solução de hipoclorito de sódio, foi realizado um ensaio com uma temperatura de 30°C.

A lixiviação deste ensaio decorreu segundo os parâmetros apresentados nas tabelas 55 e 56.

Solução de lixiviação	
Concentração em NaClO	150g/L
Quantidade utilizada	75mL

Tabela 55 – Características da solução utilizada.

Lixiviação	
Massa de minério	25g
Percentagem de sólidos	25%
Duração	6 horas
Temperatura inicial	20°C
Temperatura final	30°C

Tabela 56 – Parâmetros da lixiviação.

Como o ensaio se realizou quase à temperatura ambiente, não foi necessário esperar que a polpa arrefecesse, procedendo-se logo à filtração, de onde foram recuperados 63mL de licor.

De seguida, realizou-se uma lavagem que decorreu de acordo com os parâmetros habituais.

Lavagem	
Fase líquida	H ₂ O destilada
Massa de solido	25g
Percentagem de sólidos	25%
Duração	20 minutos

Tabela 57 – Condições da lavagem realizada.

Após esta etapa, a polpa foi novamente filtrada. Devido a motivos alheios ao ensaio, esta filtração decorreu por um período de aproximadamente 36 horas, de onde foram recolhidos somente 55mL. Face à perda de solução, julgamos que possa ter existido evaporação resultante da longa exposição da solução ao ar.

O resíduo foi enviado para análise química juntamente com o licor resultante da lixiviação.

As concentrações obtidas estão apresentadas na tabela seguinte.

Amostra	Hg
NaClO resíduo	107 ppm
NaClO licor	26 ppb

Tabela 58 – Teores de mercúrio no resíduo e licor da lixiviação.

Calculando o rendimento da lixiviação para este elemento, obtemos um valor de 9,83%. Este valor é bastante baixo mas indica que houve alguma lixiviação.

Como acontecia nos ensaios com Na_2S e NaOH , verifica-se que o mercúrio lixiviado, passa para a fase gasosa pois, a quantidade removida do minério, não se encontra presente no licor da lixiviação.

Esta teoria pode-se confirmar calculando a concentração esperada para o licor.

$$\text{Hg inicial} \rightarrow 118,67\text{ppm} \times 25\text{g} = 2,97\text{mg}$$

$$\text{Hg resíduo} \rightarrow 107\text{ppm} \times 25\text{g} = 2,68\text{mg}$$

$$\text{Hg dissolvido} \rightarrow 2,97\text{mg} - 1,83\text{mg} = 0,29\text{mg}$$

$$\text{Concentração esperada para o licor} \rightarrow \frac{0,29\text{mg}}{75\text{mL}} \times 1000\text{mL} = 3,87\text{mg/L.}$$

Comparando o valor da concentração esperada com a concentração obtida no licor, observamos que o mercúrio também não se encontra na fase líquida, podendo unicamente estar na fase gasosa.

5 Microscopia

5.1 INSTRUMENTOS

Os ensaios de microscopia realizados nesta dissertação foram feitos num micro analisador de sonda eletrónica (Electron Probe Micro-Analyzer – EPMA). Neste caso, foi utilizado um Field Emission Electron Microanalyzer da marca JEOL.

Este equipamento funciona partindo do princípio que, quando uma amostra sólida é atingida por um feixe de eletrões focado, acelerado e com energia suficiente, esta liberta energia e matéria. Estas interações entre a amostra e os eletrões libertam principalmente calor mas também produzem eletrões derivativos e raios-X. No caso de análises a material geológico, o que mais interessa são os eletrões secundários e os defletidos pois, estes permitem a criação de uma imagem da superfície do material ou a obtenção da composição média do mesmo.

Segue-se uma imagem esquematizada da constituição do equipamento em questão.

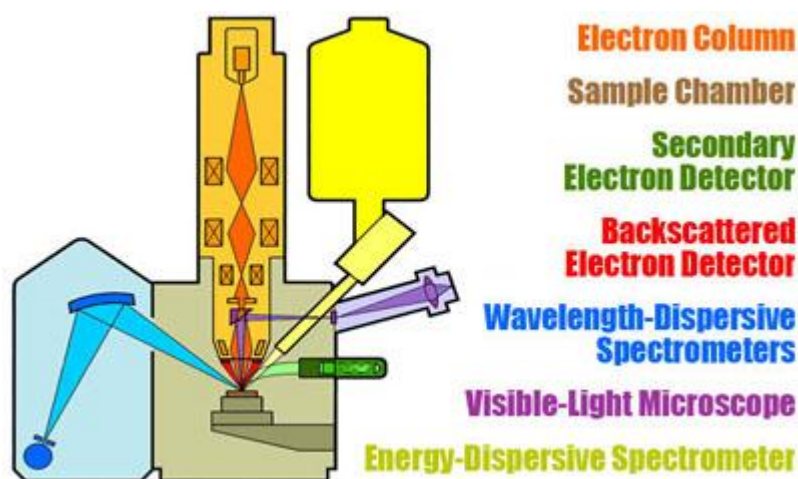


Figura 23 – Representação ilustrativa da constituição de um micro analisador de sonda eletrónica.

Este equipamento é constituído por uma fonte de eletrões; uma série de lentes eletromagnéticas localizadas na coluna do equipamento, utilizadas para condensar e focar o feixe de eletrões; uma câmara para a amostra que se encontra em vácuo de modo a não existirem moléculas de gás ou vapor a interferir com o feixe de eletrões; um microscópio ótico para observação direta da amostra e vários detetores espalhados em redor da câmara da amostra utilizados para detetar os raios-X e os eletrões emitidos pela amostra. (Geochemical Instrumentation and Analysis)

As amostras têm que ser sujeitas a uma preparação especial de modo a serem introduzidas no equipamento para a sua leitura correta. Estas são misturadas com uma resina de modo a ficarem com a forma de pequenos cilindros com 2,5cm de diâmetro.

Segue-se uma fotografia das amostras já preparadas.



Figura 24 – Amostras preparadas para serem introduzidas no micro analisador de sonda eletrónica.

5.2 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

5.2.1 ANÁLISES PONTUAIS ÀS AMOSTRAS

Para completar as análises químicas das amostras de minério pré e pós ensaios, foram enviadas 6 amostras diferentes para o LNEG.

As amostras enviadas correspondiam ao minério do concentrado da lavaria de cobre antes e depois de lixiviado e lavado e ao minério do concentrado de cobre do circuito RC antes de lixiviado, e após três tipos de tratamento diferentes.

Cada amostra foi analisada pontualmente, tendo-se obtido, para cada análise, uma tabela com as percentagens de cada elemento presentes em cada ponto. Infelizmente, não foi realizada nenhuma amostragem pontual deste género ao minério do concentrado da lavaria de cobre antes de lixiviado.

A tabela que se segue, contém as percentagens de cada elemento para todas as análises pontuais realizadas.

	RC original			RC lixiviado a 90°C				RC lixiviado a 67°C BM	RC lixiviado a 70°C BA	Conc. Lavaria lixiviado a 90°C
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4			
Hg	0,078	0,239	0,257	0,027	-	0,039	0,006	0,14	0,081	0,094
Fe	3,09	4,15	5,37	2,23	2,89	3,53	5,08	4,65	4,35	12,02
S	33,37	25,12	25,42	33,76	33,97	33,76	34,04	25,18	25,12	31,36
Cd	0,15	0,047	0,014	0,156	0,129	0,131	0,169	0,008	0,021	-
Cu	1,77	36,35	36,79	0,771	0,838	1,16	0,748	37,73	36,83	31,3
Zn	62,18	3,86	2,54	63,88	63,46	61,36	60,48	4,28	4,75	1,5
As	0,005	0,578	0,121	0,05	0,035	0,055	-	0,398	3,79	-
Pb	-	0,178	0,067	0,089	0,014	0,059	0,094	-	0,006	-
Sb	-	28,89	29,32	-	0,021	-	0,015	29,52	22,09	-
Total	100,64	99,41	99,899	100,96	101,356	100,094	100,633	101,906	97,039	76,275

Tabela 59 – Composição em percentagem, dos diferentes elementos detetados nas análises pontuais às diferentes amostras de minério.

Analisando as amostras individualmente, apercebemo-nos que temos duas estruturas diferentes sobre as quais incidiram os testes.

Começando pelo minério do concentrado de cobre do circuito RC, apercebemo-nos que, nos três ensaios realizados, dois deles são muito semelhantes mas há um que se distingue bastante dos restantes.

	RC original		
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Hg	0,0781	0,2391	0,2569
Fe	3,0900	4,1500	5,3700
S	33,3700	25,1200	25,4200
Cd	0,1502	0,0470	0,0143
Cu	1,7700	36,3500	36,7900
Zn	62,1800	3,8600	2,5400
As	0,0051	0,5776	0,1207
Pb	-	0,1778	0,0673
Sb	-	28,8900	29,3200
Total	100,6433	99,4116	99,8992

Tabela 60 – Quantidade percentual dos elementos detetados nas análises pontuais ao minério do concentrado de cobre do circuito RC antes de sujeito a ensaios.

Como é possível verificar na tabela 60, as percentagens em zinco, cobre e enxofre, mostram que estes ensaios incidiram em dois sulfuretos de cobre e num sulfureto de zinco. Para termos a certeza dos sulfuretos em questão, procedemos a um cálculo de estruturas minerais.

Para tal, foi necessário recalcular as percentagens de cada elemento para obtermos a sua proporção atómica.

	Massa atómica:
Hg	200,59
Fe	55,85
S	32,07
Cd	112,41
Cu	63,55
Zn	65,38
As	74,92
Pb	207,20
Sb	121,76

Tabela 61 – Massas atómicas dos diferentes elementos presentes no minério.

Tivemos então que dividir a percentagem de material obtida na tabela 60 pela massa atômica de cada elemento (tabela 61), obtendo assim a tabela que se segue.

Tabela recalculada em proporções atômicas			
RC original			
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Hg	0,0004	0,0012	0,0013
Fe	0,0553	0,0743	0,0962
S	1,0407	0,7834	0,7928
Cd	0,0013	0,0004	0,0001
Cu	0,0279	0,5720	0,5790
Zn	0,9511	0,0590	0,0388
As	0,0001	0,0077	0,0016
Pb	—	0,0009	0,0003
Sb	—	0,2373	0,2408

Tabela 62 – Tabela recalculada em proporções atômicas para os elementos presentes nas amostras pontuais ao minério do concentrado de cobre do circuito RC original.

Analisando a primeira coluna, vemos que temos uma relação atômica correspondente a uma blenda. Esta estrutura tem a fórmula (Zn, Fe)S com uma relação atômica de (Zn, Fe):S de 1:1. Observando a tabela 62, verificamos que, para o ponto 1, temos uma relação atômica de 0.967:1.

Olhando às outras duas colunas, presumimos que estas representariam duas tetraedrites ($\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$) pois, este mineral possui uma relação atômica de 0.923:0.308:1. Para o 2º ponto temos uma relação de (Cu, Fe):Sb:S de 0.825:0.303:1 e para o 3º temos uma relação de 0.852:0.304:1. Comparando estes valores com a relação atômica característica das tetraedrites, podemos concluir que a análise incidiu sobre estas estruturas.

Voltando a olhar para os valores de Hg na tabela 60 e sabendo agora que a primeira coluna corresponde a uma blenda e que a segunda e a terceira a tetraedrites, fizemos uma relação com a quantidade de mercúrio existente nas mesmas e chegamos à conclusão que, o mercúrio se encontra maioritariamente associado às segundas. Por estas análises, verificamos que as tetraedrites têm, em média, três vezes mais Hg que as blendas.

Passemos então às análises feitas ao minério do concentrado de cobre do circuito RC após um ensaio de lixiviação a 90°C e duas lavagens (tabela 63).

	RC lixiviado a 90°C			
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4
Hg	0,0269	-	0,0388	0,0060
Fe	2,2300	2,8900	3,5300	5,0800
S	33,7600	33,9700	33,7600	34,0400
Cd	0,1558	0,1285	0,1310	0,1690
Cu	0,7705	0,8381	1,1600	0,7483
Zn	63,8800	63,4600	61,3600	60,4800
As	0,0503	0,0351	0,0547	-
Pb	0,0891	0,0135	0,0592	0,0939
Sb	-	0,0209	-	0,0154
Total	100,9625	101,3560	100,0936	100,6326

Tabela 63 – Percentagens dos diferentes elementos presentes nas análises pontuais ao minério do concentrado de cobre do circuito RC após o ensaio.

As grandes percentagens de zinco e enxofre levaram-nos a admitir que estaríamos perante a mesma estrutura mineral, que seria a da blenda. No entanto, procedemos à confirmação, recalculando as proporções atômicas (tabela 64).

Tabela recalculada em proporções atômicas				
RC lixiviado a 90°C				
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4
Hg	0,0001	—	0,0002	0,0000
Fe	0,0399	0,0518	0,0632	0,0910
S	1,0529	1,0594	1,0529	1,0616
Cd	0,0014	0,0011	0,0012	0,0015
Cu	0,0121	0,0132	0,0183	0,0118
Zn	0,9771	0,9706	0,9385	0,9251
As	0,0007	0,0005	0,0007	—
Pb	0,0004	0,0001	0,0003	0,0005
Sb	—	0,0002	—	0,0001

Tabela 64 – Proporções atômicas dos diferentes elementos presentes nas análises pontuais ao minério do concentrado de cobre do circuito RC após o ensaio.

Sabendo que a relação atômica das blendas é (Zn,Fe)S 1:1, calculamos as relações para os valores obtidos na tabela 64.

As relações atômicas obtidas foram de 0,966:1, 0,965:1, 0,951:1 e 0,957:1 respetivamente para o 1º, 2º, 3º e 4º pontos.

Comparando estes valores, podemos afirmar que as quatro análises incidiram sobre blendas. Esta conclusão pode levantar duas hipóteses.

Podemos dizer que nenhuma análise acertou numa tetraedrite mas, mesmo assim elas existem ou, podemos ponderar na hipótese de se terem destruído durante a lixiviação.

Caso as tetraedrites tivessem sido destruídas, teríamos que observar uma redução na concentração em cobre contudo, os rendimentos deste ensaio (tabela 20) mostram que tal fenómeno não aconteceu. Assim sendo, esta hipótese foi refutada, levando-nos a acreditar que simplesmente tivemos azar na incidência das análises.

Ainda assim, podemos comparar a quantidade de mercúrio presente nas blendas das amostras lixiviadas (tabela 63) com a quantidade de mercúrio presente na blenda analisada no minério original (tabela 60).

Na blenda do minério original, tínhamos uma percentagem de mercúrio de 0,0781 enquanto que no minério após a lixiviação, as percentagens eram de 0,0269, 0,0388, 0,0060 e uma estava abaixo do limiar de deteção. Uma vez que a percentagem de mercúrio nas blendas diminuiu, podemos afirmar que este elemento é também lixiviado a partir desta estrutura mineral.

Quanto aos outros dois ensaios (70º em banho maria e base de aquecimento), vamos analisa-los individualmente mesmo sabendo que estes foram realizados com condições quase iguais.

Começando pelo ensaio de lixiviação com um reagente de $\text{Na}_2\text{S} + \text{NaOH}$ a aproximadamente 70ºC em banho maria.

	RC lixiviado a 70ºC BM
Hg	0,1397
Fe	4,6500
S	25,1800
Cd	0,0075
Cu	37,7300
Zn	4,2800
As	0,3984
Pb	-
Sb	29,5200
Total	101,9055

Tabela 65 – Percentagens dos diferentes elementos presentes na análise pontual ao minério do concentrado de cobre do circuito RC após o ensaio.

Olhando para as percentagens de cobre, zinco e enxofre, esta amostra aparenta representar uma tetraedrite. Para confirmar esta especulação, recalculamos a tabela de modo a obter as proporções atómicas.

	Tabela recalculada em proporções atômicas
	RC lixiviado a 70°C BM
Hg	0,0007
Fe	0,0833
S	0,7853
Cd	0,0001
Cu	0,5937
Zn	0,0655
As	0,0053
Pb	—
Sb	0,2424

Tabela 66 – Proporções atômicas dos diferentes elementos constituintes do minério do concentrado de cobre do circuito RC após o ensaio.

As tetraedrites ($\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$) têm uma relação de proporções atômicas de (Cu, Fe):Sb:S de 0,825:0,303:1. Analisando as proporções da tabela anterior, obtemos uma relação atômica de 0,862:0,309:1 o que confirma a incidência desta análise sobre uma tetraedrite.

Comparando esta análise com as tetraedrites analisadas no minério do circuito RC antes dos ensaios, podemos verificar que houve uma redução considerável de mercúrio. Este apresentava uma percentagem de 0,2391 e 0,2569 nas estruturas antes de lixiviadas (tabela 60) e aparece agora com uma percentagem de 0,1397.

Analisemos agora os resultados do ensaio realizado com a base de aquecimento (tabela 67).

	RC lixiviado a 70°C BA
Hg	0,0811
Fe	4,3500
S	25,1200
Cd	0,0211
Cu	36,8300
Zn	4,7500
As	3,7900
Pb	0,0064
Sb	22,0900
Total	97,0387

Tabela 67 – Composição química obtida na análise pontual ao minério do concentrado de cobre do circuito RC após o ensaio.

Recalculando os valores de modo a obtermos as proporções atômicas, obtemos a tabela que se segue.

	Tabela recalculada em proporções atômicas
	RC lixiviado a 70°C BA
Hg	0,0004
Fe	0,0779
S	0,7834
Cd	0,0002
Cu	0,5796
Zn	0,0727
As	0,0506
Pb	0,0000
Sb	0,1814

Tabela 68 – Proporções atômicas dos elementos químicos detetados na análise pontual ao minério do concentrado de cobre do circuito RC após o ensaio.

A partir dos valores obtidos na tabela 68, calculamos as relações atômicas obtendo uma relação de (Cu, Fe):Sb:S de 0,839:0,232:1 que é compatível com a de uma tetraedrite. Verificamos também que esta tem uma percentagem em Hg muito reduzida, confirmando assim a lixiviação deste elemento.

Olhando para os valores das tabelas 60 e 67, notamos também que houve uma redução considerável a nível de antimônio.

Por fim, analisamos a amostra realizada ao minério do concentrado da lavaria de cobre após o único ensaio realizado sobre este material. Infelizmente, esta amostra não serve para obter comparações, uma vez que não foi realizada nenhuma análise pontual a este minério antes de tratado.

	Conc. Lavaria lixiviado a 90°C
Hg	0,0944
Fe	12,0200
S	31,3600
Cd	-
Cu	31,3000
Zn	1,5000
As	-
Pb	-
Sb	-
Total	76,2745

Tabela 69 – Composição química detetada na análise pontual ao minério do concentrado da lavaria de cobre após o ensaio.

	Tabela recalculada em proporções atômicas
	Conc. Lavaria lixiviado a 90°C
Hg	0,0005
Fe	0,2152
S	0,9780
Cd	—
Cu	0,4926
Zn	0,0229
As	—
Pb	—
Sb	—

Tabela 70 – Proporções atômicas dos elementos presentes na análise pontual realizada ao minério do concentrado da lavaria de cobre após o ensaio.

Analisando as proporções atômicas vemos que temos uma formação com uma estrutura $\text{Cu}_2\text{Fe}_4\text{S}$ e podemos observar também a falta de aproximadamente 24% da constituição desta formação. Com uma breve pesquisa, verificamos que as proporções atômicas de uma estanite ($\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$) são muito idênticas à presente na tabela 70. Uma vez que nos falta aproximadamente 24% de material e que não analisamos a presença de estanho, a hipótese de estarmos perante uma análise a uma estanite, parece bastante plausível. A nível de percentagens de cada elemento, uma estanite tem 30% de cobre, 30% de enxofre, 13% de ferro e 27% de estanho. Estas são muito próximas das percentagens que temos (tabela 69), excetuando o estanho que não foi analisado.

Usando as análises químicas (tabela 13) realizadas no capítulo anterior, observamos que esta amostra possui uma concentração de 0,25% em estanho o que, de certa forma, apoia esta hipótese.

5.2.2 ANÁLISE ÀS IMAGENS DE SUPERFÍCIE

Uma das principais utilidades da microscopia com micro analisador de sonda eletrónica é a criação de uma imagem superficial de concentrações com base no comportamento da amostra após ser atingida pelo feixe de eletrões. Estas imagens foram realizadas em áreas quadradas da amostra com 1,2 mm de lado. Uma vez que o nosso minério se encontrava moído a um calibre que rondava os 10 μm , estas imagens englobam bastante material, reduzindo-se assim a probabilidade de apanhar zonas mais ricas num elemento que outras. Claro que, também é necessária uma boa homogeneização do minério para se obterem resultados que se possam comparar posteriormente.

Nesta subcapítulo, vamos fazer uma comparação meramente visual do minério do concentrado de cobre do circuito RC antes e depois de lixiviado com métodos diferentes e dos dois tipos diferentes de minério antes de lixiviados. É importante voltar a referir que estas comparações são somente entre imagens superficiais criadas a partir da libertação de eletrões e raios-X resultantes do bombardeamento de eletrões sobre a amostra.

Devido a problemas de leitura (um dos cinco espectrómetros de raios-X de comprimento de onda dispersivo não estava a funcionar), a imagem referente ao arsénio (As) não foi obtida. Esta, é na verdade, uma imagem na qual está presente arsénio e chumbo. A única maneira de se obter uma

imagem somente deste elemento foi, editando a imagem do arsénio de maneira a se retirar o chumbo. Esta edição resultou numa imagem referenciada como EL, na qual não foi possível retirar o fundo azul. Este problema e procedimento foram realizados em todas as análises.

Outro problema relacionado com o mapeamento, está associado à representação do mercúrio que, devido à sua concentração tão baixa, precisava de um tempo de exposição de 24 horas de modo a se obter uma imagem elucidativa. Tal procedimento não foi realizado devido aos elevados custos que representava. Deste modo, a imagem do mercúrio não nos permite tecer conclusões nem comparações sobre os diferentes ensaios realizados nem sobre a presença deste elemento nas amostras iniciais.

Como verificamos anteriormente, através das análises químicas (tabelas 12 e 13), o minério do concentrado da lavaria de cobre tem uma constituição relativamente diferente do minério do concentrado de cobre do circuito RC.

Na figura 25, podemos observar o mapeamento dos diferentes elementos no minério do concentrado da lavaria de cobre.

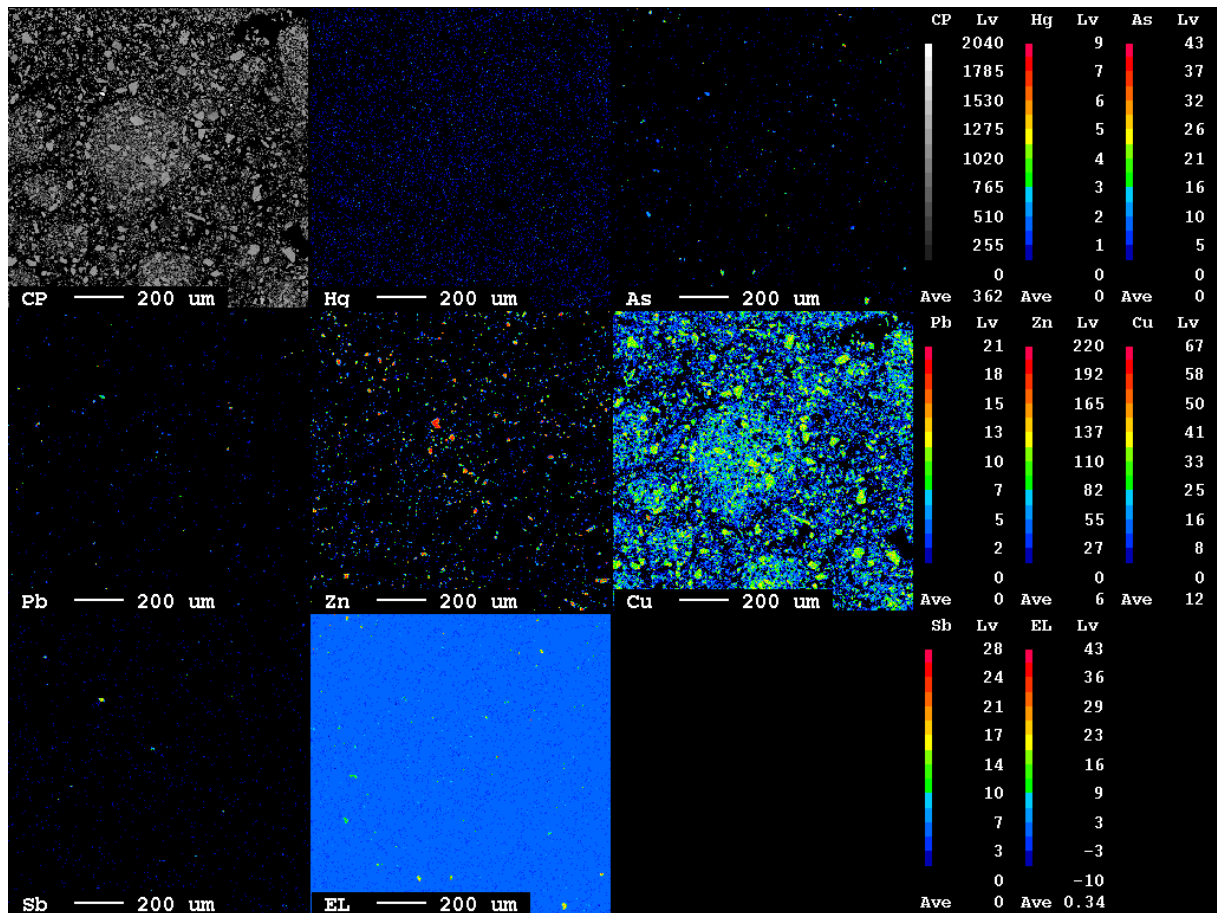


Figura 25 – Superfície de concentrações do minério do concentrado da lavaria de cobre original.

Observando a figura, facilmente constatamos um grande teor de cobre, seguido de uma presença também significativa de zinco. A nível dos restantes elementos, a sua concentração é visivelmente muito inferior notando-se ainda a existência de algum chumbo e uma quantidade muito reduzida de antimónio e arsénio.

Segue-se então uma imagem referente ao minério do concentrado de cobre do circuito RC.

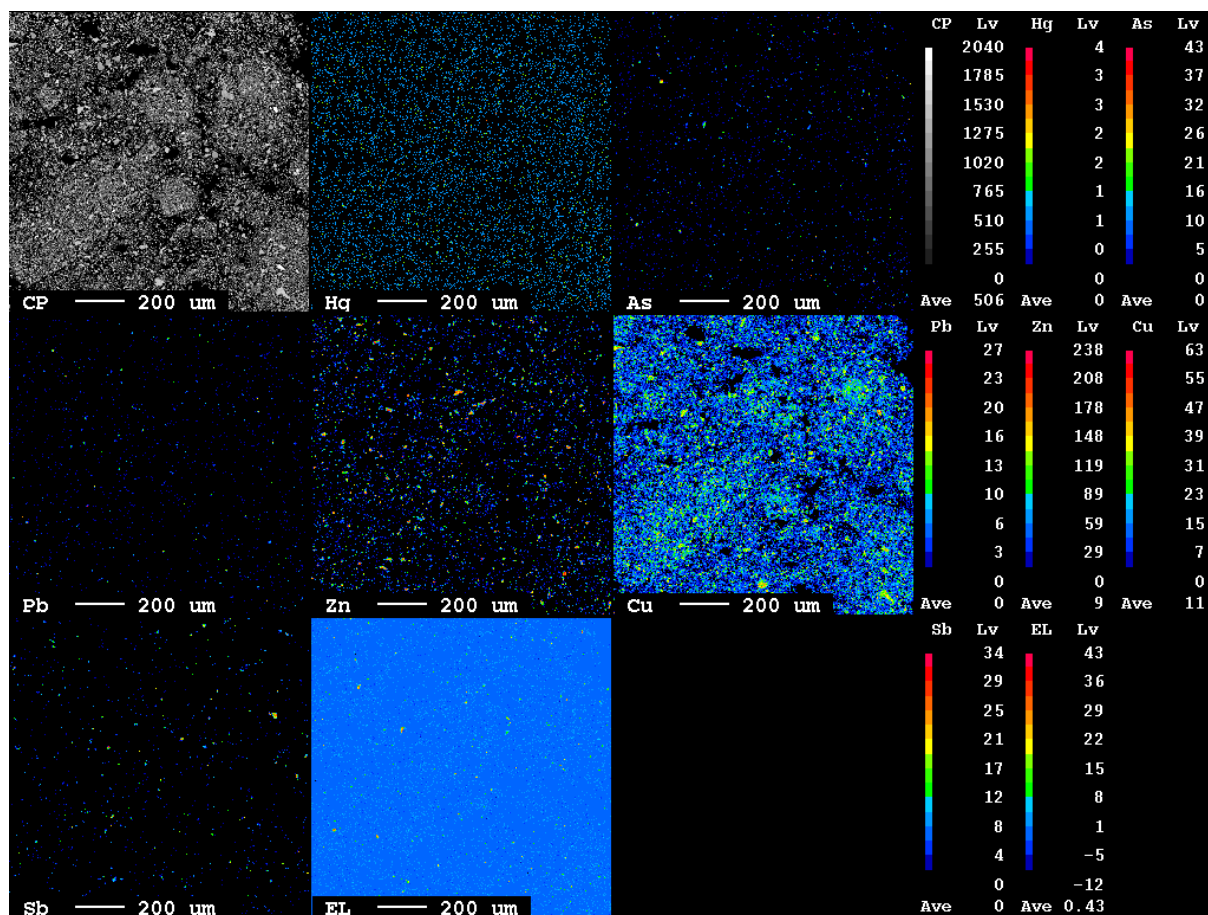


Figura 26 - Superfície de concentrações do minério do concentrado de cobre do circuito RC original.

Analisando a imagem, vemos que esta foi realizada numa área em que apanhou mais material que a amostra anterior. Esta afirmação é constatável verificando a existência de menos zonas negras, correspondentes à resina na imagem denominada de CP. Podemos verificar, tal como na figura 25, que o elemento mais abundante é o cobre, seguido do zinco. Comparando os restantes elementos, podemos verificar que o chumbo, o antimónio, o arsénio e até mesmo o mercúrio, parecem ser mais abundantes.

Procedemos então a uma comparação de cada elemento individualmente.

Começando por analisar a quantidade de material presente nas amostras (figura 27), verificamos que a matriz correspondente ao minério do concentrado de cobre do circuito RC possui maior densidade de pontos e que estes se encontram espalhados de uma forma mais homogénea.

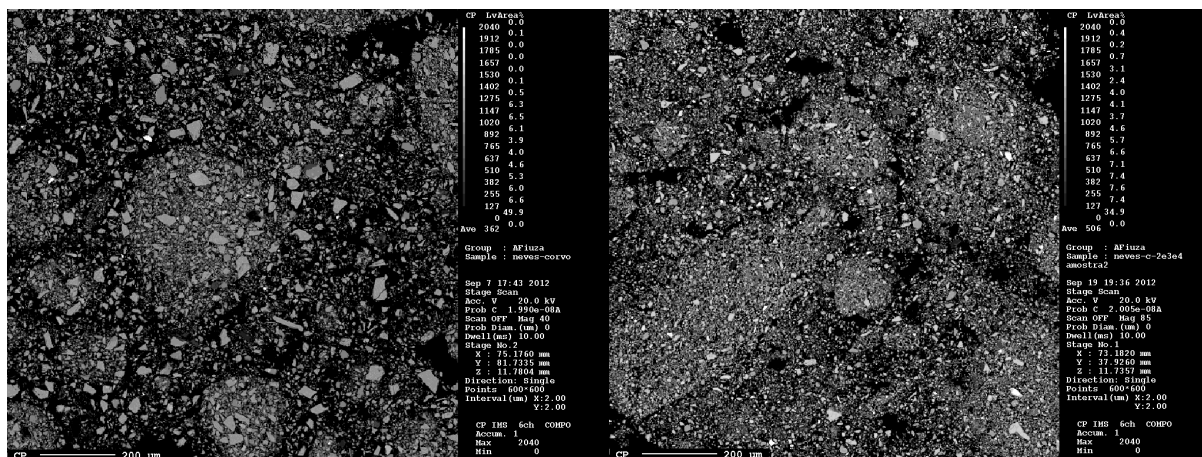


Figura 27 – Matrizes de material do minério do concentrado da lavaria de cobre e do concentrado de cobre do circuito RC respectivamente.

De seguida, comparamos o cobre (figura 28).

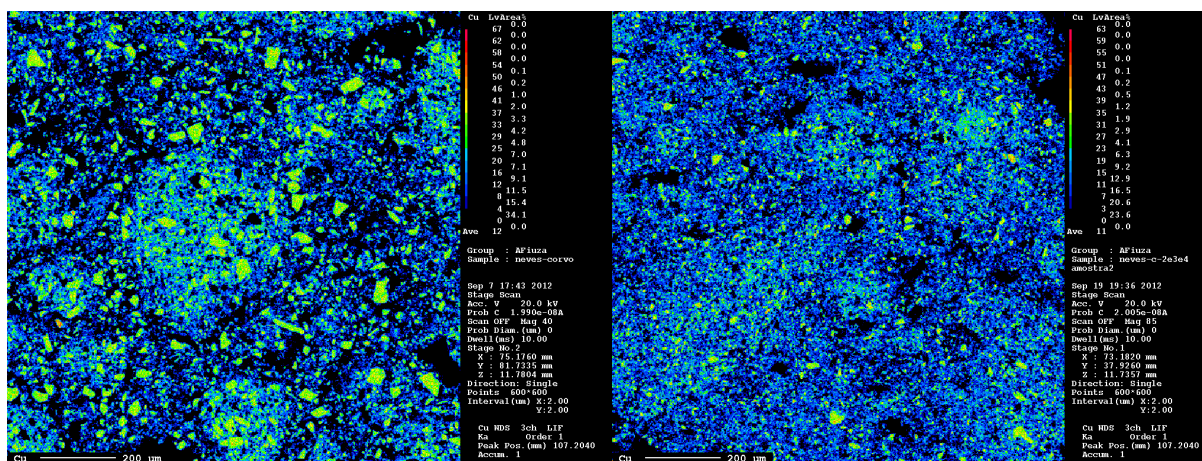


Figura 28 – Representação do cobre no minério do concentrado da lavaria de cobre e do concentrado de cobre do circuito RC respectivamente.

Na imagem referente ao minério do concentrado da lavaria de cobre, notamos a existência de núcleos de concentração relativamente mais elevada, algo que não se verifica no minério do concentrado de cobre do circuito RC. A nível de conclusões, podemos apenas inferir que ambos os minérios possuem uma concentração em cobre bastante elevada, uma vez que as matrizes de material são diferentes.

Passamos então à análise do zinco.

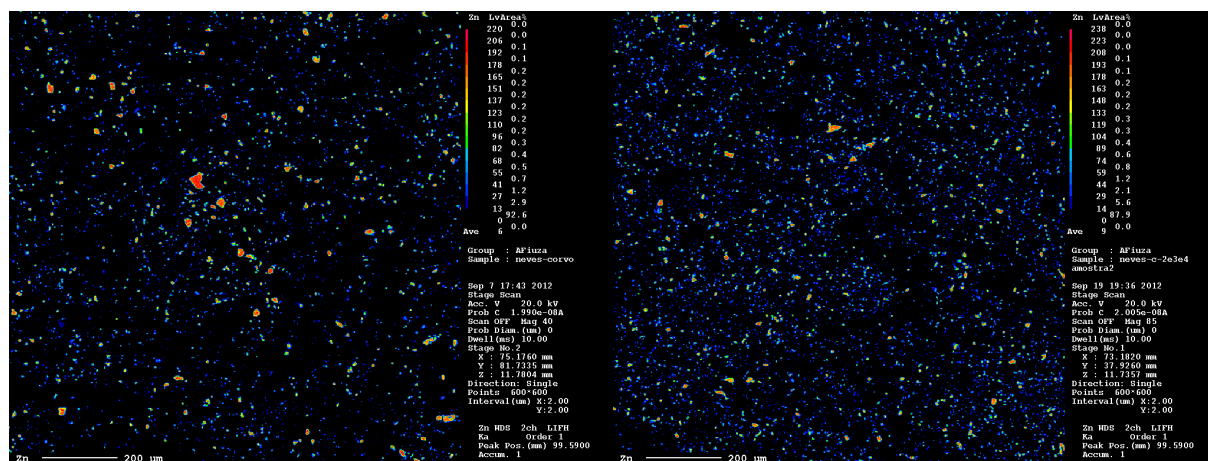


Figura 29 - Representação do zinco no minério do concentrado da lavaria de cobre e do concentrado de cobre do circuito RC respetivamente.

No caso do zinco (figura 29), temos uma situação muito semelhante ao cobre. No minério do concentrado da lavaria de cobre, são observáveis núcleos com maiores concentrações contudo, a nível de dispersão e área ocupada, estas são nitidamente maiores no minério do concentrado de cobre do circuito RC. Tal como no caso do cobre, apenas podemos afirmar que ambos os minérios possuem um teor significativo de zinco.

A figura seguinte é referente ao antimónio

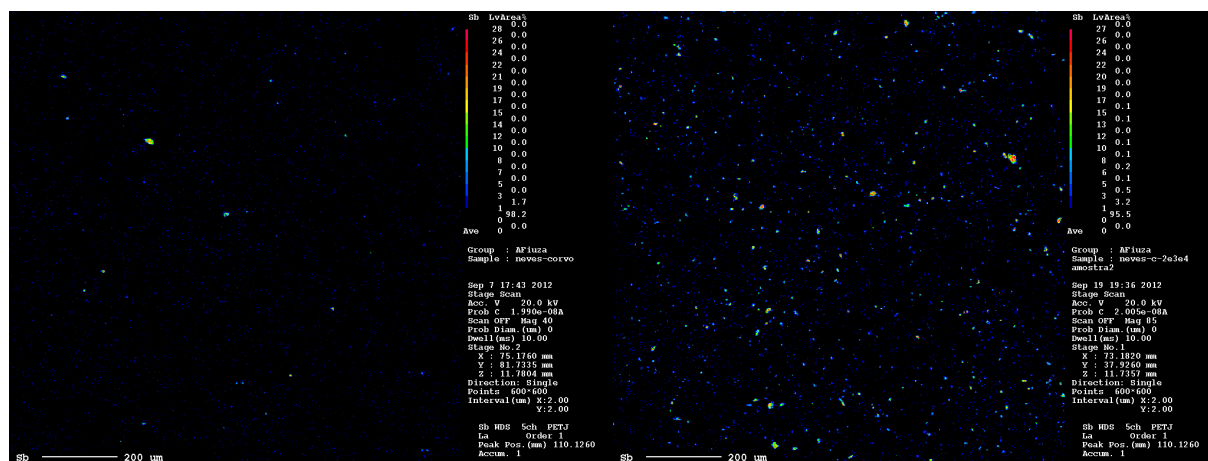


Figura 30 - Representação do antimónio no minério do concentrado da lavaria de cobre e do concentrado de cobre do circuito RC respetivamente.

Como é possível observar na figura 30, a diferença de concentrações neste elemento é visualmente indiscutível. O minério do concentrado de cobre do circuito RC possui uma quantidade bastante superior de antimônio quando comparado com o minério do concentrado da lavaria de cobre.

A figura 31 é referente ao chumbo.

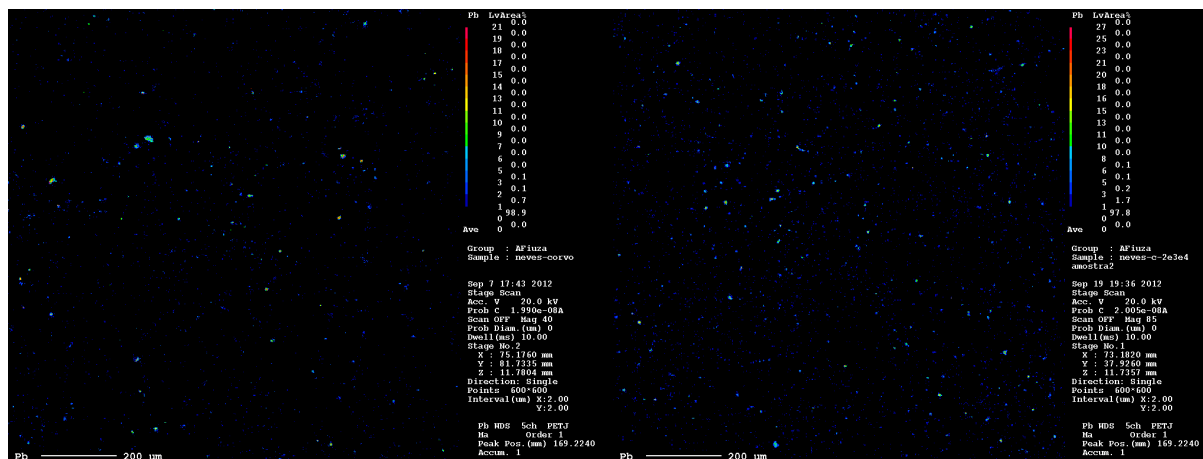


Figura 31 - Representação do chumbo no minério do concentrado da lavaria de cobre e do concentrado de cobre do circuito RC respetivamente.

Também para este elemento, é observável uma maior concentração na imagem referente ao minério do concentrado de cobre do circuito RC contudo, não podemos quantificar essa diferença. Podemos apenas referir que, aparentemente, há maior quantidade de chumbo presente no minério do concentrado de cobre do circuito RC.

De seguida, analisamos as imagens referentes ao arsénio.

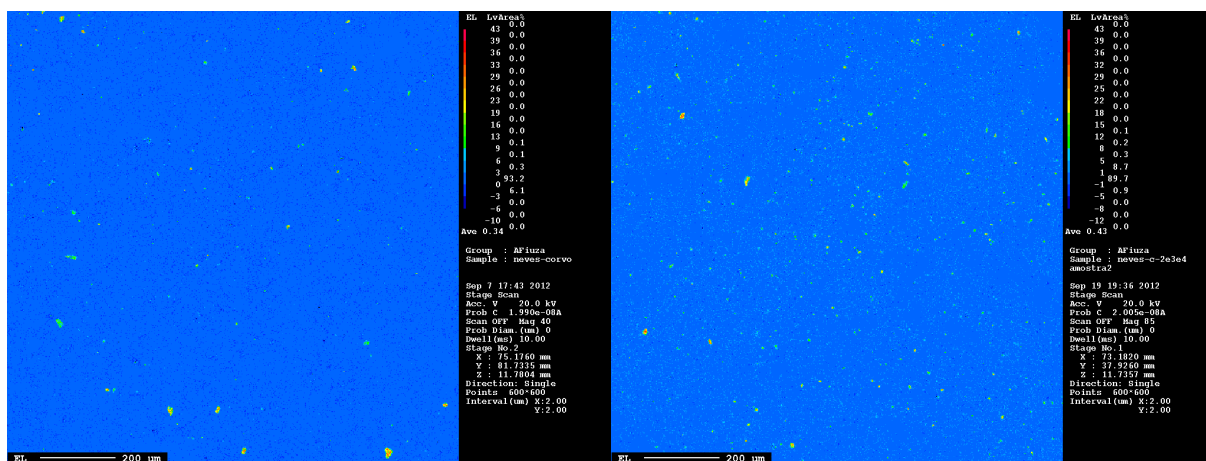


Figura 32 - Representação do arsénio no minério do concentrado da lavaria de cobre e do concentrado de cobre do circuito RC respetivamente.

Como já foi referido anteriormente, estas duas imagens são resultantes da edição de um mapa em que foram contabilizadas simultaneamente as concentrações de arsénio e chumbo, à qual foi retirada a concentração de chumbo. Desta operação resulta uma imagem de fundo azul o que dificulta bastante a sua análise. De certa forma, podemos especular que há mais arsénio no minério do concentrado de cobre do circuito RC mas, não podemos fazer afirmações com grande grau de certeza pois a observação das imagens é muito pouco esclarecedora.

Relativamente ao mercúrio, como referido anteriormente, as imagens obtidas (figura 33) são muito pouco conclusivas pois, para concentrações tão baixas, seria necessário um tempo de exposição de 24 horas. Só assim teríamos uma representação precisa.

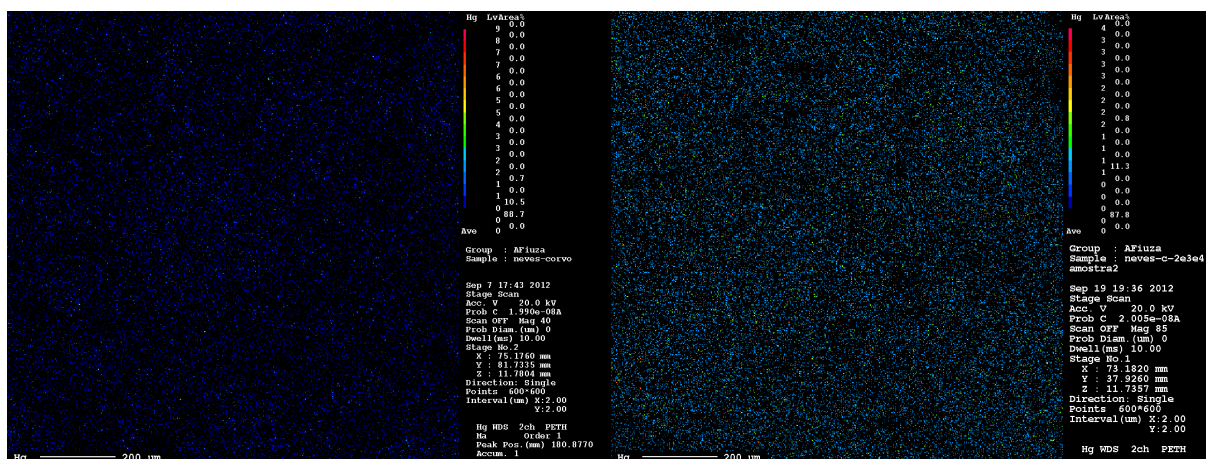


Figura 33 - Representação do mercúrio no minério do concentrado da lavaria de cobre e do concentrado de cobre do circuito RC respetivamente.

Comparando as duas imagens, vemos que o minério do concentrado de cobre do circuito RC tem um teor consideravelmente superior ao do minério do concentrado da lavaria de cobre.

Após a comparação individual dos diferentes elementos nos dois concentrados, podemos concluir que:

- O minério do concentrado da lavaria de cobre é, aparentemente, mais rico em cobre e em zinco;
- O minério do concentrado de cobre do circuito RC possui maior concentração nos elementos penalizantes.

Finalizada a comparação dos dois minérios tal qual, passemos à análise do material antes e após o seu tratamento.

A figura que se segue, é referente ao mapeamento de todos os elementos obtido a partir do minério lixiviado durante 6 horas a 90°C e seguido de duas lavagens.

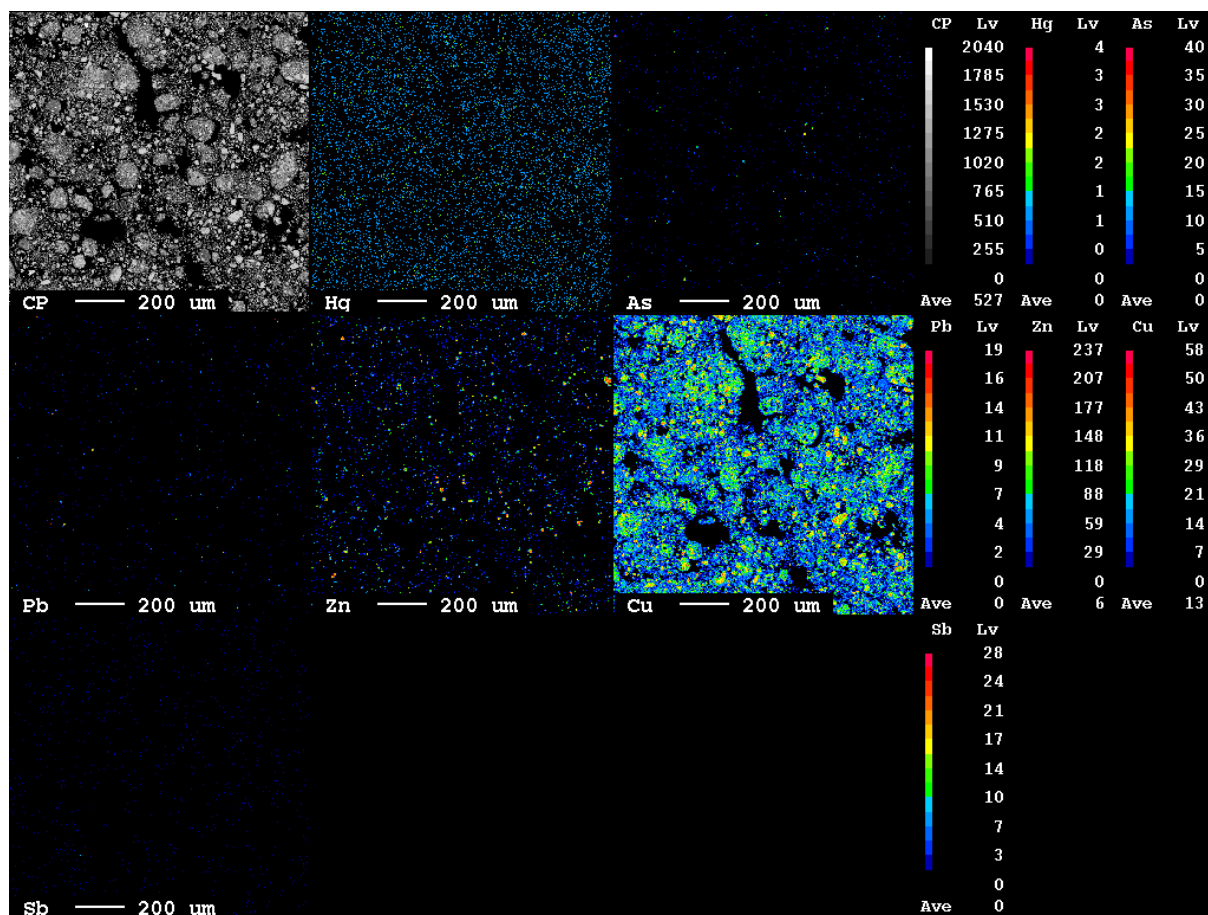


Figura 34 - Representação dos vários elementos presentes no minério do concentrado da lavaria de cobre após o ensaio.

Como se pode observar, aparentemente, o minério continua a apresentar concentrações elevadas de cobre bem como teores apreciáveis de zinco e a quase inexistência de outros penalizantes.

Após a observação global dos elementos presentes no minério, procedemos à análise individual de cada elemento e a sua comparação com o minério original.

As duas imagens que se seguem (figura 35) são representativas da quantidade de minério presente na amostra preparada para a análise.

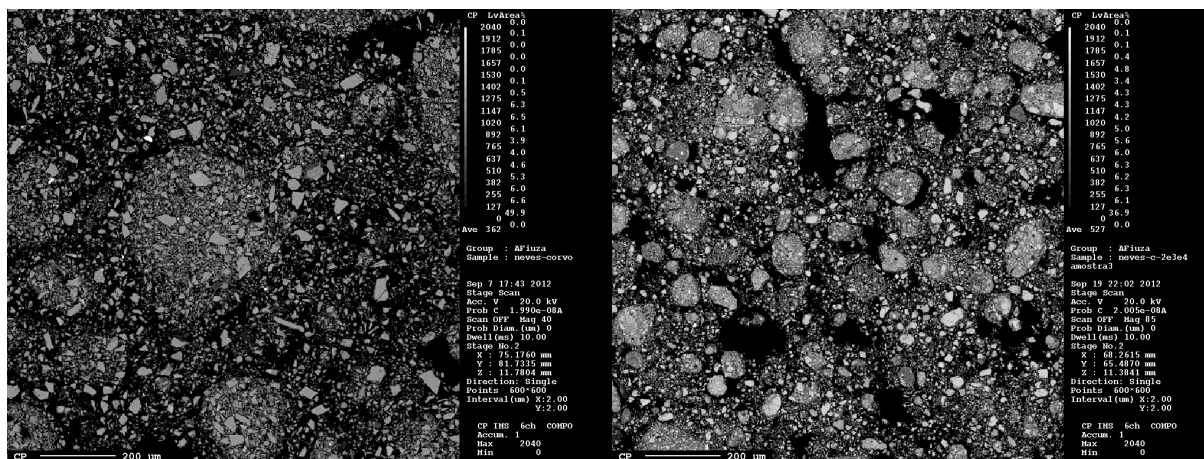


Figura 35 – Matrizes de material presente nas amostras do minério do concentrado da lavaria de cobre antes e após o ensaio, respetivamente.

Aparentemente, a amostra do minério após o ensaio, possui mais aglomerados de material que a amostra do minério original. Isto pode influenciar os resultados obtidos e a leitura visual dos mesmos. Este facto obriga-nos a salvaguardar todas as conclusões retiradas das comparações que se seguem pois, aparentemente, temos mais material na análise ao minério lixiviado.

Tendo isto em conta, procedemos à análise do cobre (figura 36).

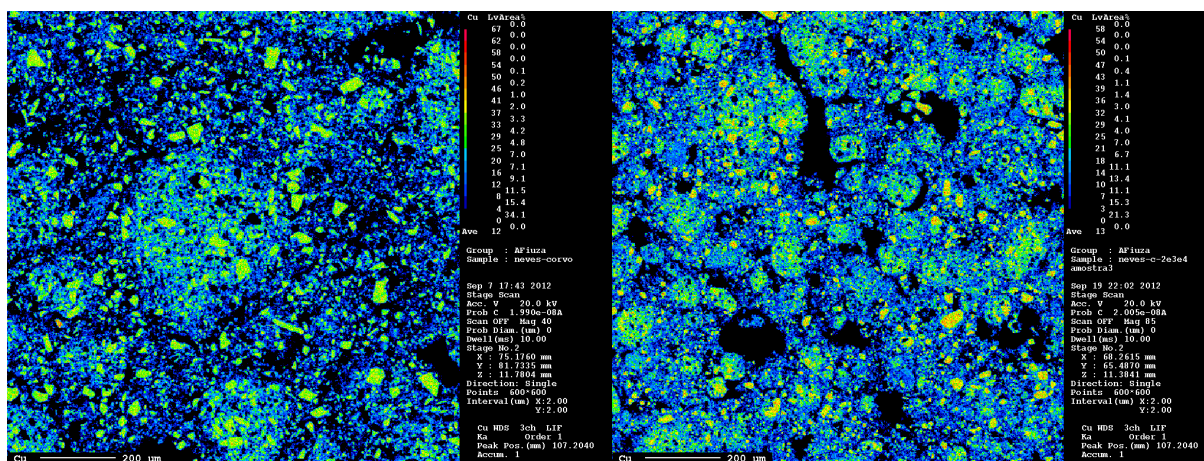


Figura 36 - Representação do cobre no minério do concentrado da lavaria de cobre antes e após o ensaio, respetivamente.

Segundo uma análise visual deste elemento, poderíamos dizer que ganhamos cobre. Tal afirmação é completamente impossível de se fazer uma vez que não havia nenhum processo de introdução de cobre durante o ensaio experimental. O que se observa aqui é uma maior concentração de cobre na imagem referente ao minério após lixiviado devido à maior quantidade de material presente nesta

amostra. Podemos tentar afirmar que o cobre não foi lixiviado durante o ensaio mas é preciso salvaguardar a veracidade desta afirmação pois, estamos a comparar quantidades de minério diferentes.

De seguida, analisamos a presença de zinco.

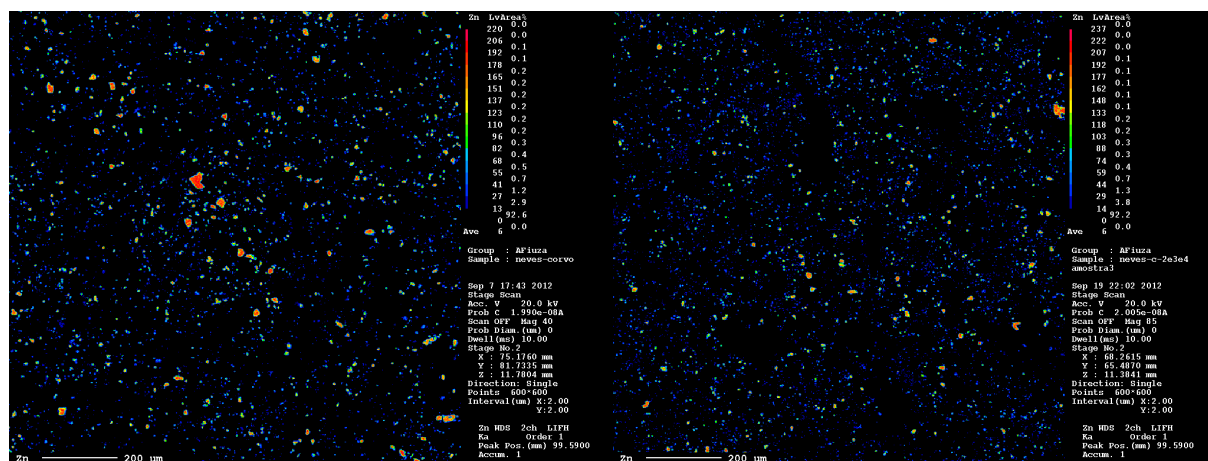


Figura 37 - Representação do zinco no minério do concentrado da lavaria de cobre antes e após o ensaio, respetivamente.

A análise comparativa deste elemento (figura 37) também é incerta pois, apesar de na imagem referente ao minério tratado, não serem observáveis os núcleos de concentrações mais elevadas, a distribuição do elemento parece superior. Este facto também se deve à maior quantidade de material presente na amostra referente ao minério após o tratamento. De certa forma, podemos tentar afirmar que não houve lixiviação de zinco durante o ensaio mas, esta hipótese é meramente especulativa quando retirada apenas pelas imagens. Contudo, olhando para as análises químicas realizadas no capítulo anterior (tabela 19), verificamos que a concentração de zinco permanece idêntica antes e após o ensaio, o que significa que, de facto, não houve lixiviação deste elemento.

Feita a análise aos elementos principais, passemos agora à análise aos elementos minoritários.

As figura que se segue (figura 38) é referente ao antimónio.

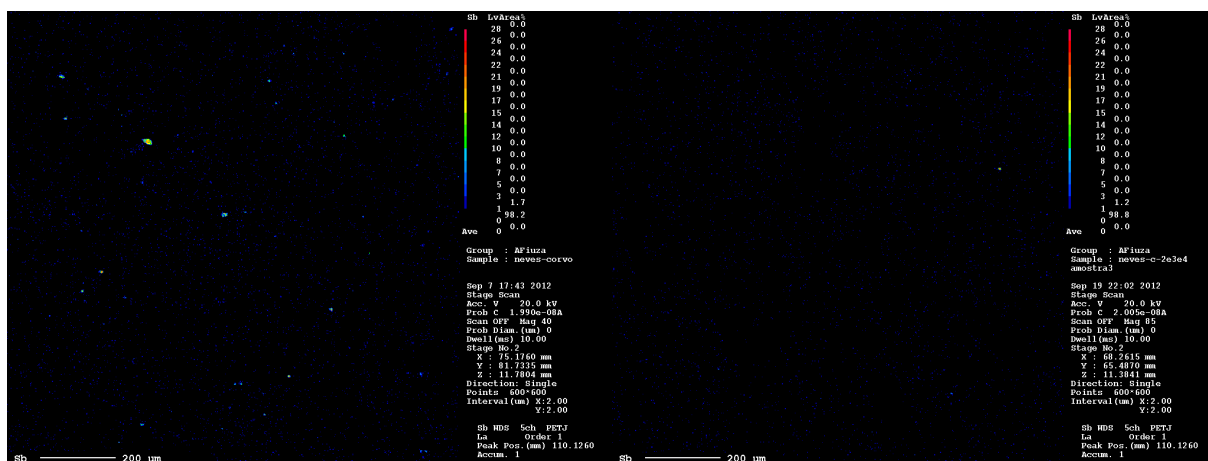


Figura 38 - Representação do antimônio no minério do concentrado da lavaria de cobre antes e após o ensaio, respectivamente.

Observando as duas imagens, podemos afirmar com alguma certeza, que este elemento foi efetivamente lixiviado e removido do minério durante o ensaio. Tendo em consideração que temos mais material na amostra referente ao minério tratado e que esta aparenta não ter os núcleos de concentrações mais elevadas observados na imagem referente ao minério original, arriscamos a dizer que este elemento sofreu lixiviação. As análises químicas realizadas no capítulo anterior, apresentadas na tabela 19, corroboram esta afirmação.

Passamos então à análise do chumbo.

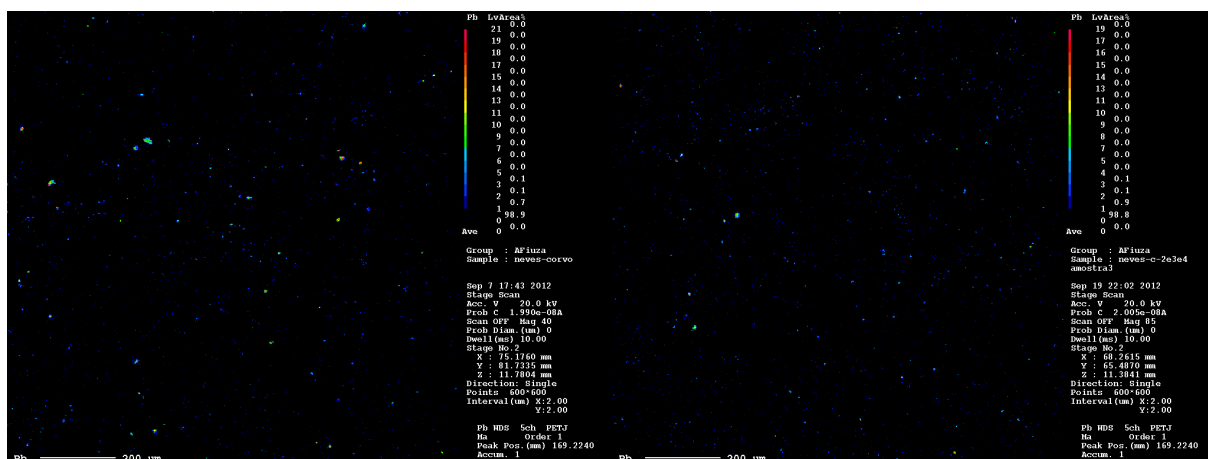


Figura 39 - Representação do chumbo no minério do concentrado da lavaria de cobre antes e após o ensaio, respectivamente.

Este elemento aparenta ter sofrido alguma lixiviação contudo, esta é uma afirmação especulativa uma vez que, a única diferença observável é a redução de núcleos de maior concentração. Se confirmarmos com as análises químicas, observamos que houve efetivamente alguma lixiviação deste elemento.

De seguida analisamos a presença de arsénio.

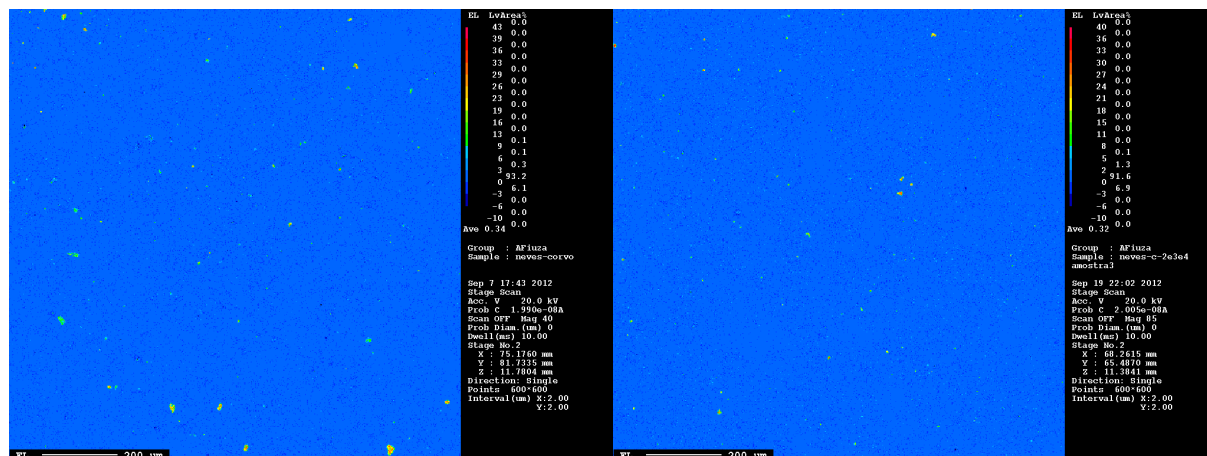


Figura 40 - Representação do arsénio no minério do concentrado da lavaria de cobre antes e após o ensaio, respetivamente.

Apesar das dificuldades já descritas anteriormente quanto à análise deste elemento, podemos verificar que alguns núcleos de concentração mais elevada desapareceram após a lixiviação.

Relativamente ao mercúrio, que sabemos ter teores muito baixos, o tempo de exposição foi escasso por isso, não foi possível obter o seu mapeamento, impossibilitando assim a comparação visual para este elemento.

Após a análise pontual a cada elemento no concentrado da lavaria de cobre e seu resíduo, não conseguimos retirar conclusões muito relevantes. No entanto, sabemos que os penalizantes sofreram alguma (ainda que muito reduzida) lixiviação.

De seguida, comparamos os efeitos de três ensaios diferentes sobre o minério do concentrado de cobre do circuito RC. Estes ensaios foram já descritos detalhadamente no capítulo anterior pelo que apenas faremos referência à temperatura, ao tempo de lixiviação e ao método de aquecimento.

Seguem-se as imagens dos diferentes elementos presentes nos resíduos da lixiviação de 6 horas a 90°C numa base de aquecimento (figura 41), da lixiviação de 6 horas a 70°C numa base de aquecimento (figura 42) e da lixiviação de 6 horas também a 70°C num banho maria (figura 43).

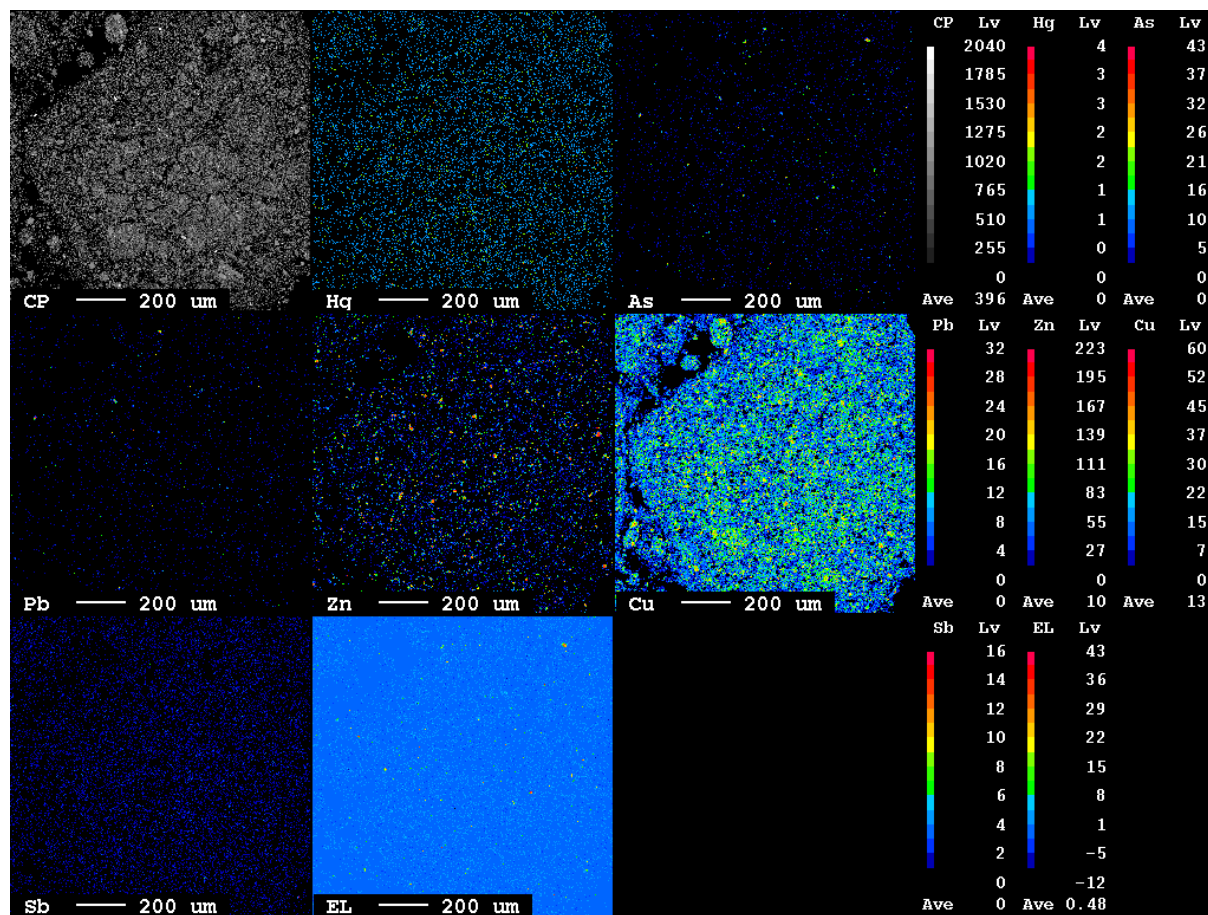


Figura 41 - Representação dos diferentes elementos presentes no minério do concentrado de cobre do circuito RC após o ensaio de lixiviação de 6 horas a 90°C e respectivas lavagens.

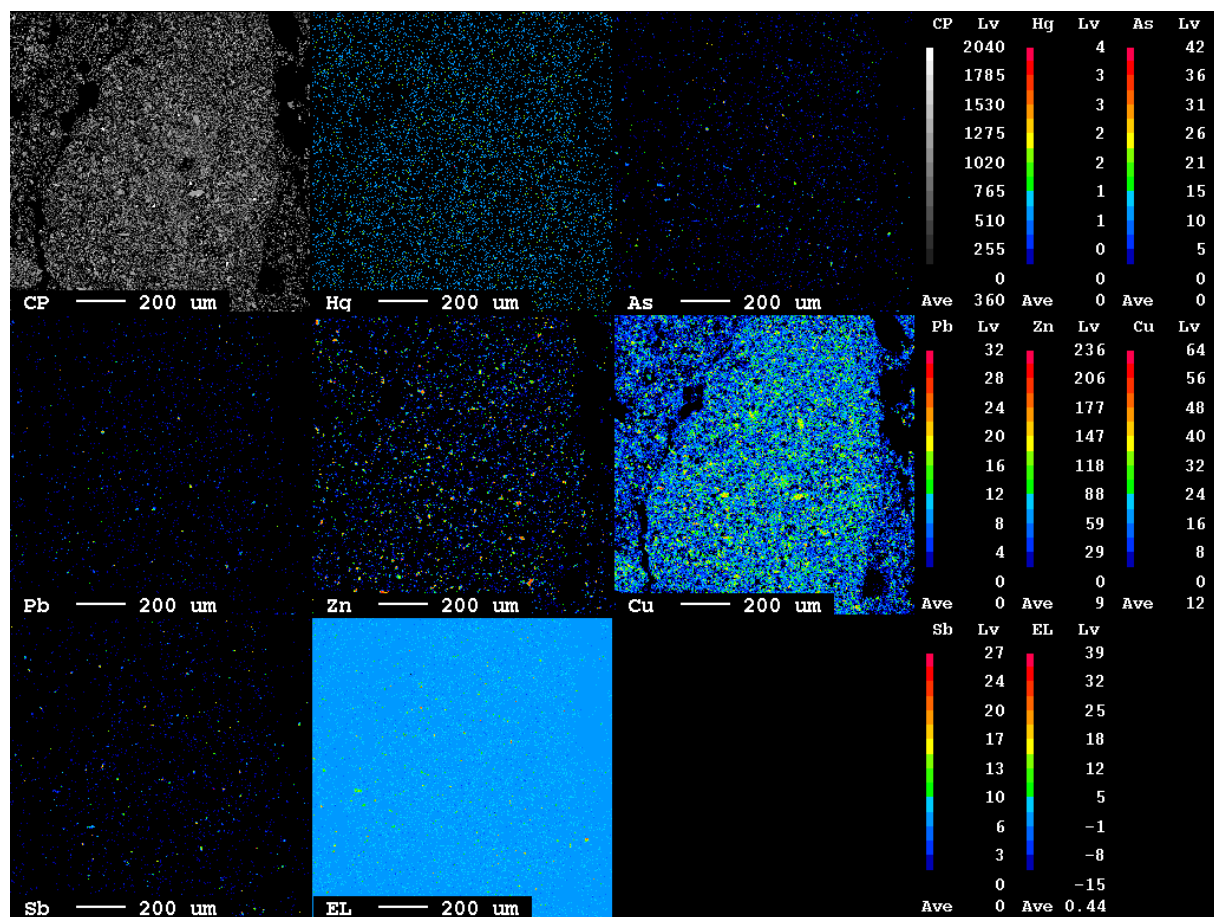


Figura 42 - Representação dos diferentes elementos presentes no minério do concentrado de cobre do circuito RC após o ensaio de lixiviação de 6 horas a 70°C numa base de aquecimento e respetivas lavagens.

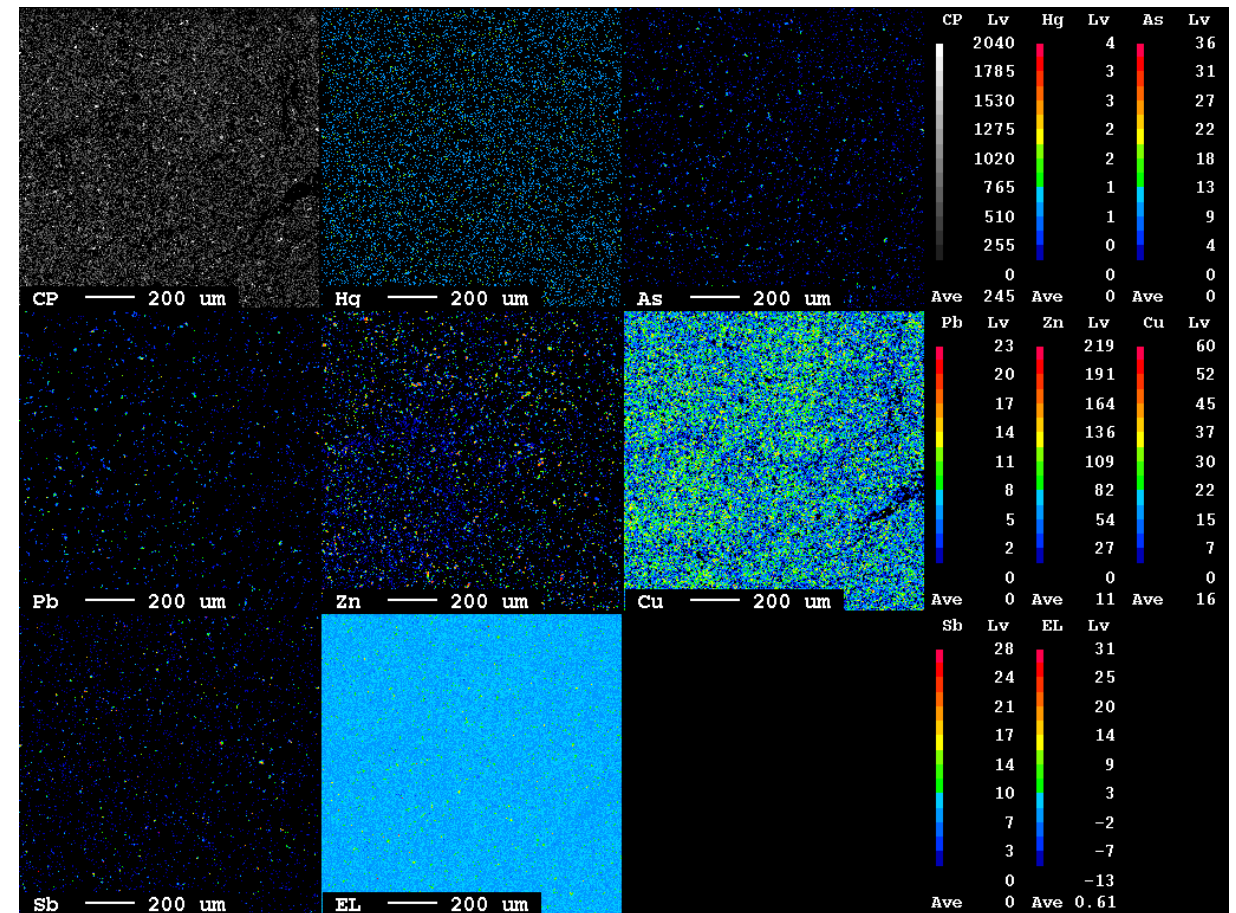


Figura 43 - Representação dos diferentes elementos presentes no minério do concentrado de cobre do circuito RC após o ensaio de lixiviação de 6 horas a 70°C em banho maria e respectivas lavagens.

De seguida, comparamos a quantidade de material presente em cada uma das amostras.

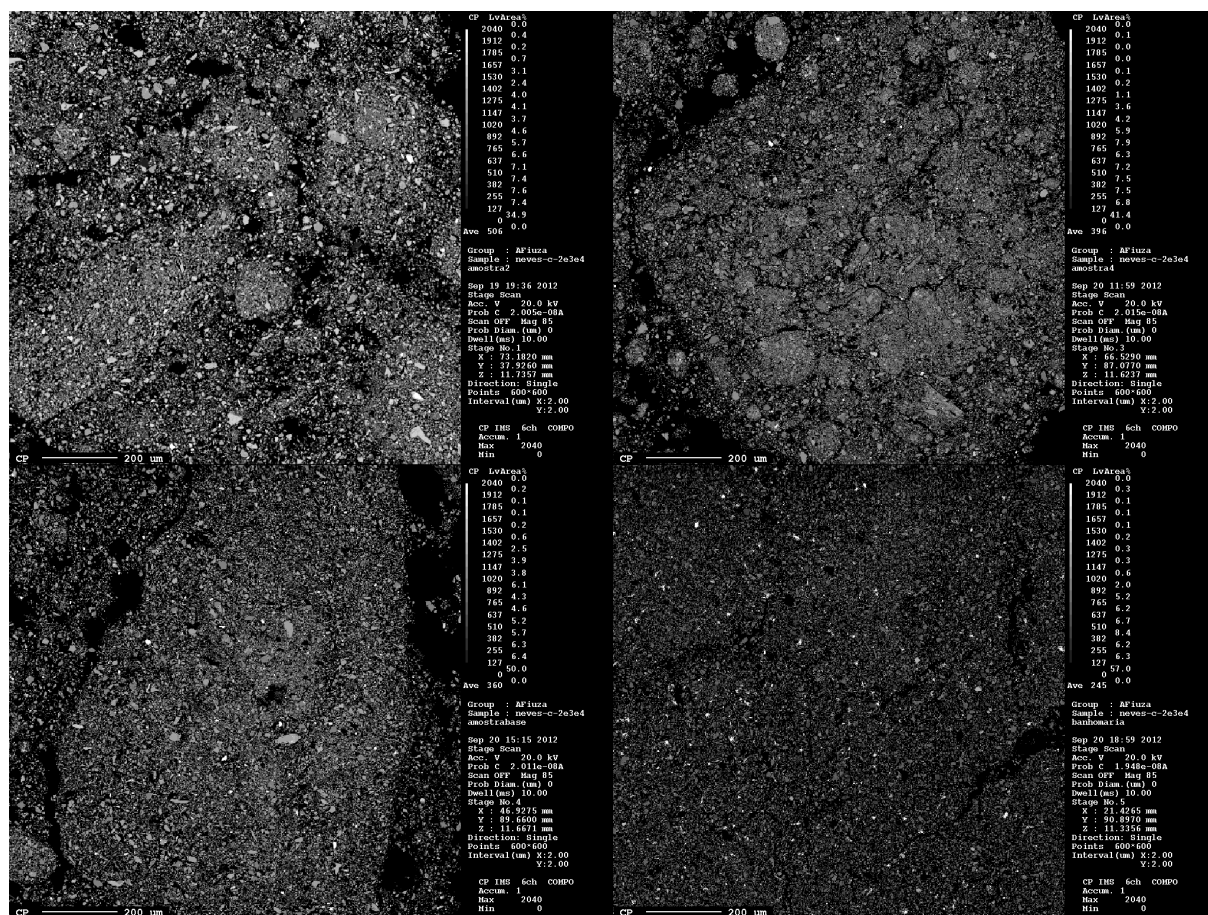


Figura 44 – Representações das matrizes de material presentes nas diferentes amostras. Minério original; Minério após o ensaio de lixiviação a 90°C; Minério após o ensaio de lixiviação a 70°C na base de aquecimento; Minério após o ensaio de lixiviação a 70°C em banho maria, respetivamente.

Observando as imagens, reparamos que temos quatro situações distintas. A quantidade de material presente em cada uma das amostras parece variar bastante, dando a impressão que a amostra do minério original é a que possui mais material, seguida das amostras do minério após a lixiviação a 90°C e do minério após a lixiviação a 70°C na base de aquecimento. A amostra que parece conter menos material é a amostra do minério referente ao ensaio de lixiviação de 70°C em banho maria. No entanto, não nos podemos esquecer que a maior ou menor quantidade de material presente, está dependente da montagem da amostra.

Considerando o facto de que a amostra do minério original é a que possui mais material, vamos ter bastante dificuldade em retirar conclusões sólidas na comparação dos elementos individualmente.

Seguem-se as imagens referentes ao cobre (figura 45).

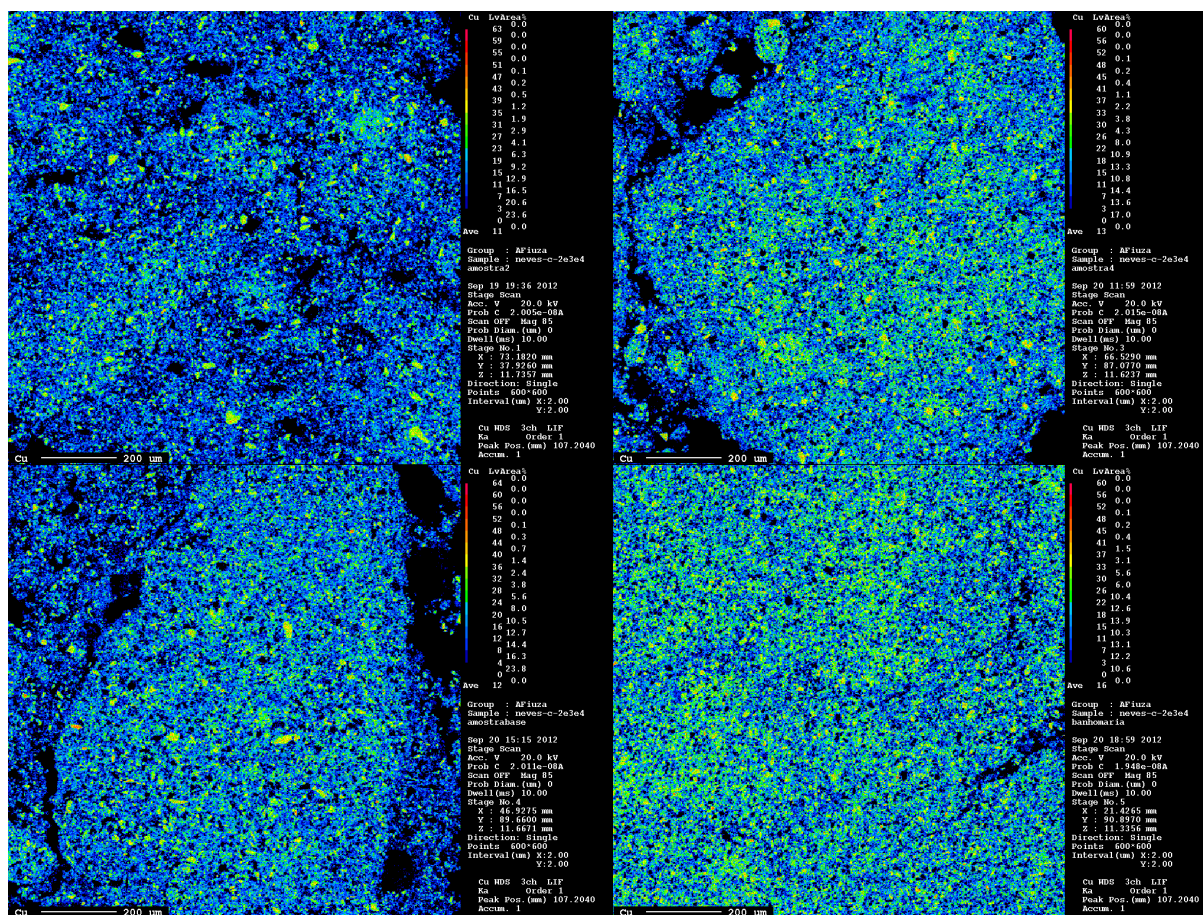


Figura 45 - Representações da distribuição e concentração de cobre presente nas diferentes amostras. Minério original; Minério após o ensaio de lixiviação a 90°C; Minério após o ensaio de lixiviação a 70°C na base de aquecimento; Minério após o ensaio de lixiviação a 70°C em banho maria, respectivamente.

A observação destas imagens é algo contraditória, considerando as afirmações mencionadas anteriormente. Uma vez que possuímos mais material na amostra do minério original, seria de esperar que tivéssemos também mais cobre nesta. Contudo, observando as imagens, as que aparentam ter mais cobre são as relativas aos resíduos. Como sabemos pelas análises químicas, a quantidade de cobre manteve-se igual ou diminuiu muito pouco, contradizendo por completo estas imagens. Assim sendo, não podemos tecer qualquer conclusão a partir desta figura.

De seguida, procedemos à análise do zinco.

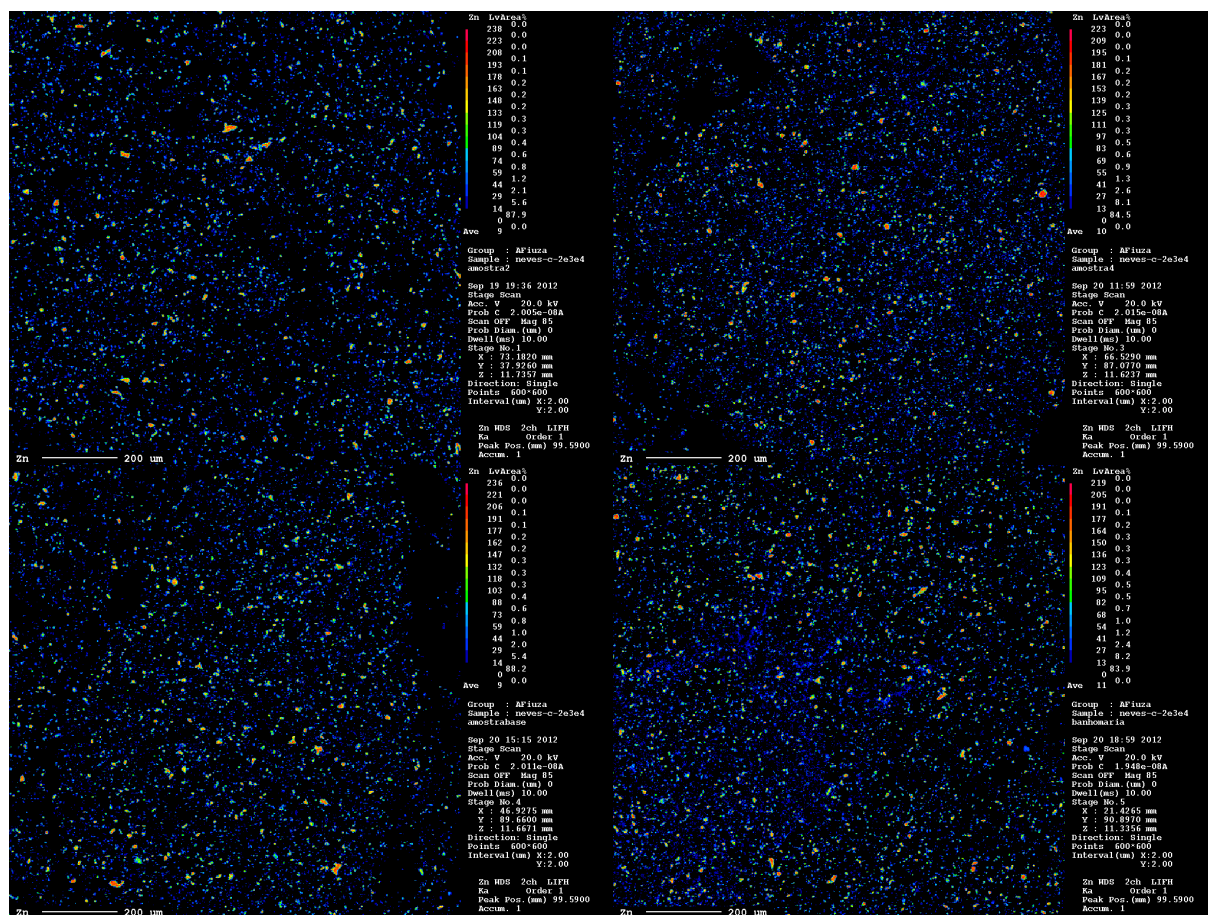


Figura 46 - Representações da distribuição e concentração de zinco presente nas diferentes amostras. Minério original; Minério após o ensaio de lixiviação a 90°C; Minério após o ensaio de lixiviação a 70°C na base de aquecimento; Minério após o ensaio de lixiviação a 70°C em banho maria, respetivamente.

Para este elemento, as imagens revelam que não houve perdas do mesmo. Ao observarmos com atenção, reparamos que os núcleos de maiores concentrações estão presentes em todas as amostras. Este facto é constatável e confirmado pelas análises químicas do capítulo anterior (tabelas 20, 26 e 28).

Feita a análise do zinco, procedemos à análise do antimónio.

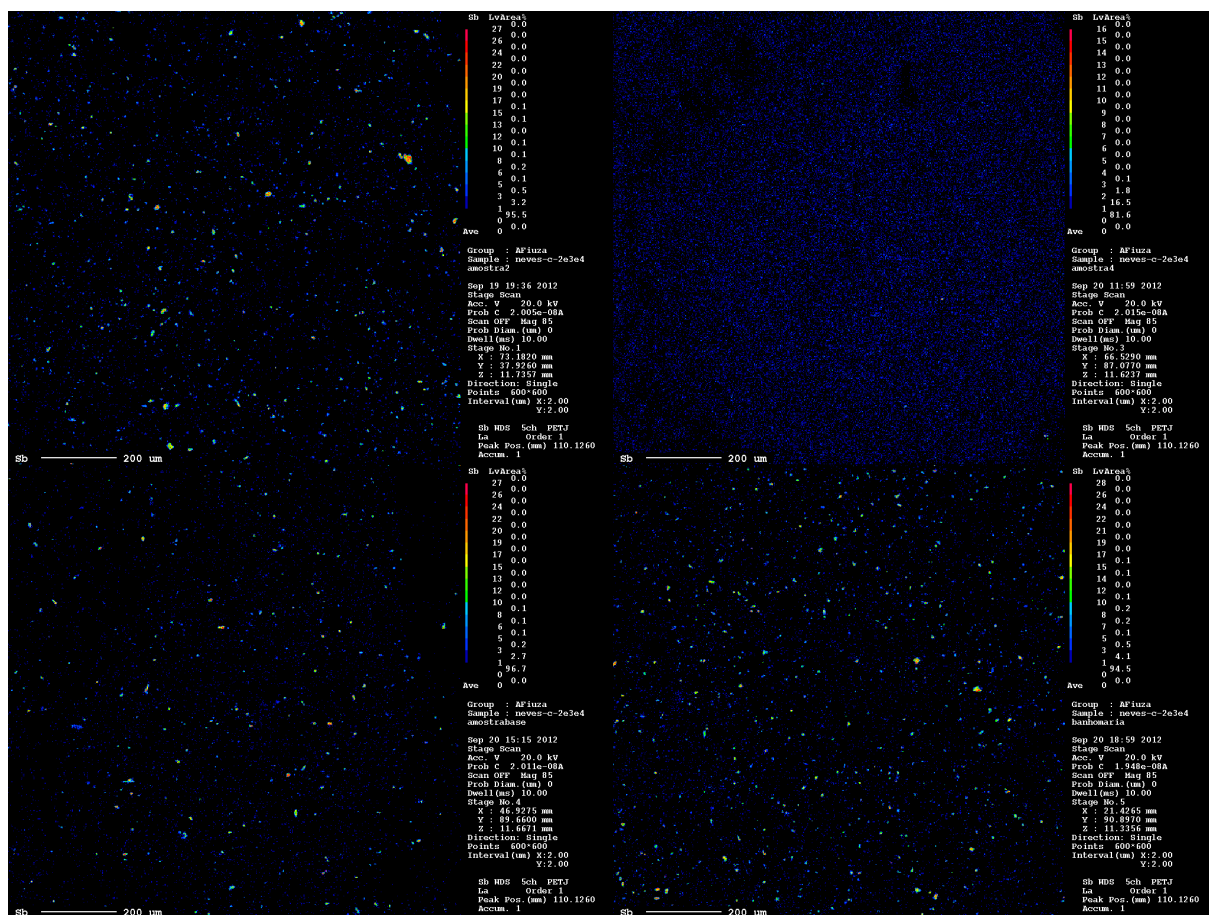


Figura 47 - Representações da distribuição e concentração de antimónio presente nas diferentes amostras. Minério original; Minério após o ensaio de lixiviação a 90°C; Minério após o ensaio de lixiviação a 70°C na base de aquecimento; Minério após o ensaio de lixiviação a 70°C em banho maria, respetivamente.

Relativamente a este elemento, a figura 47 indica que houve uma forte diminuição do mesmo após o ensaio com a lixiviação a 90°C. Em contrapartida, os ensaios a 70°C não revelam diferenças significativas quanto ao teor deste elemento no minério. Uma vez que não foi feita a análise química do antimónio, só nos podemos basear nestas imagens para a obtenção de conclusões. Salvaguardando a incerteza destas afirmações, verificamos que o incremento da temperatura aumenta a lixiviação do antimónio.

Seguidamente, analisamos o chumbo.

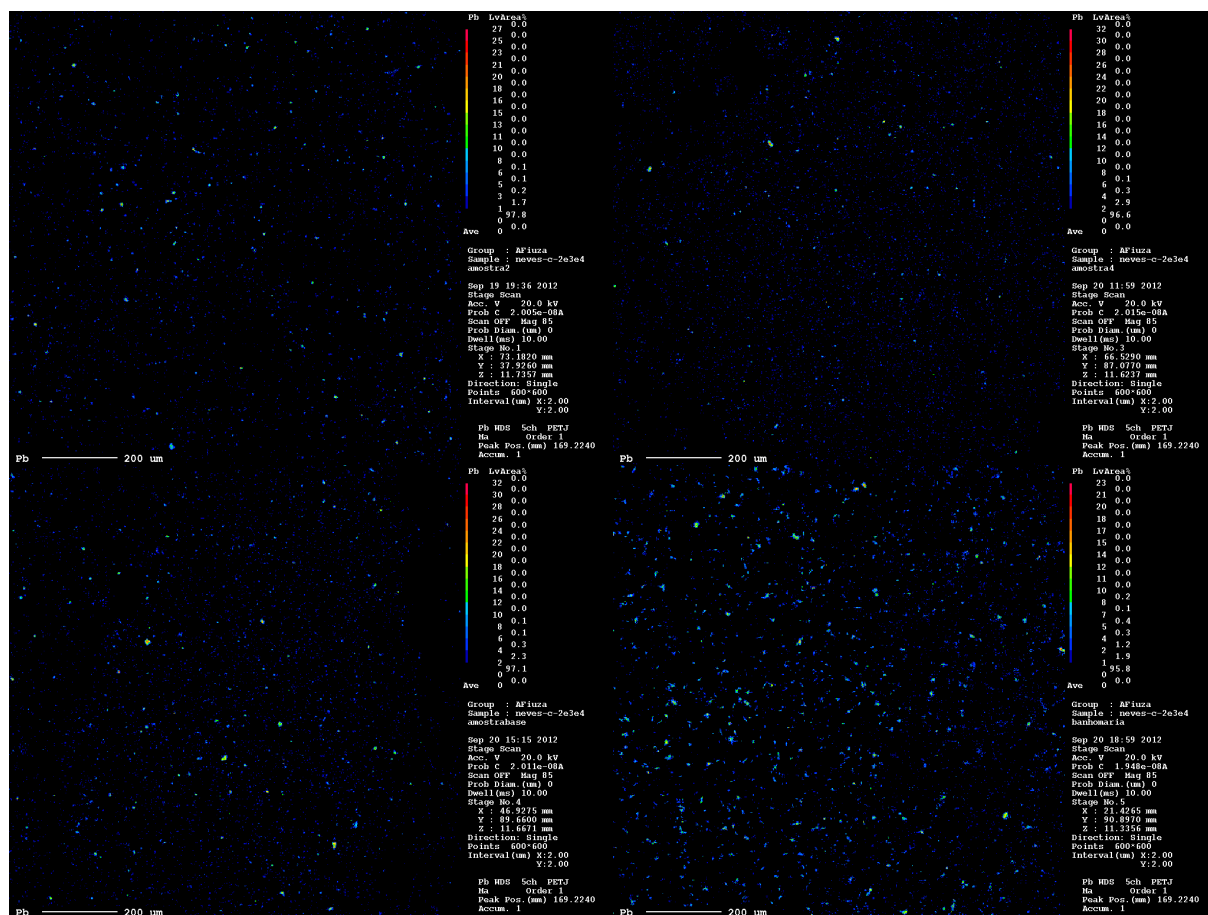


Figura 48 - Representações da distribuição e concentração de chumbo presente nas diferentes amostras. Minério original; Minério após o ensaio de lixiviação a 90°C; Minério após o ensaio de lixiviação a 70°C na base de aquecimento; Minério após o ensaio de lixiviação a 70°C em banho maria, respetivamente.

Através destas imagens (figura 48), podemos apenas inferir que, aparentemente, não existiram alterações significativas no que respeita à presença de chumbo no minério. Visualmente, a imagem referente ao ensaio de lixiviação a 70°C em banho maria é a que apresenta maiores quantidades de chumbo mas, como foi referido para o caso do cobre, a introdução de chumbo é fisicamente impossível neste ensaio. Assim sendo, devido a não se observar nenhuma diminuição significativa em nenhum dos casos, concluímos que não há remoção deste elemento por estes processos.

De seguida analisamos as imagens referentes ao arsénio.

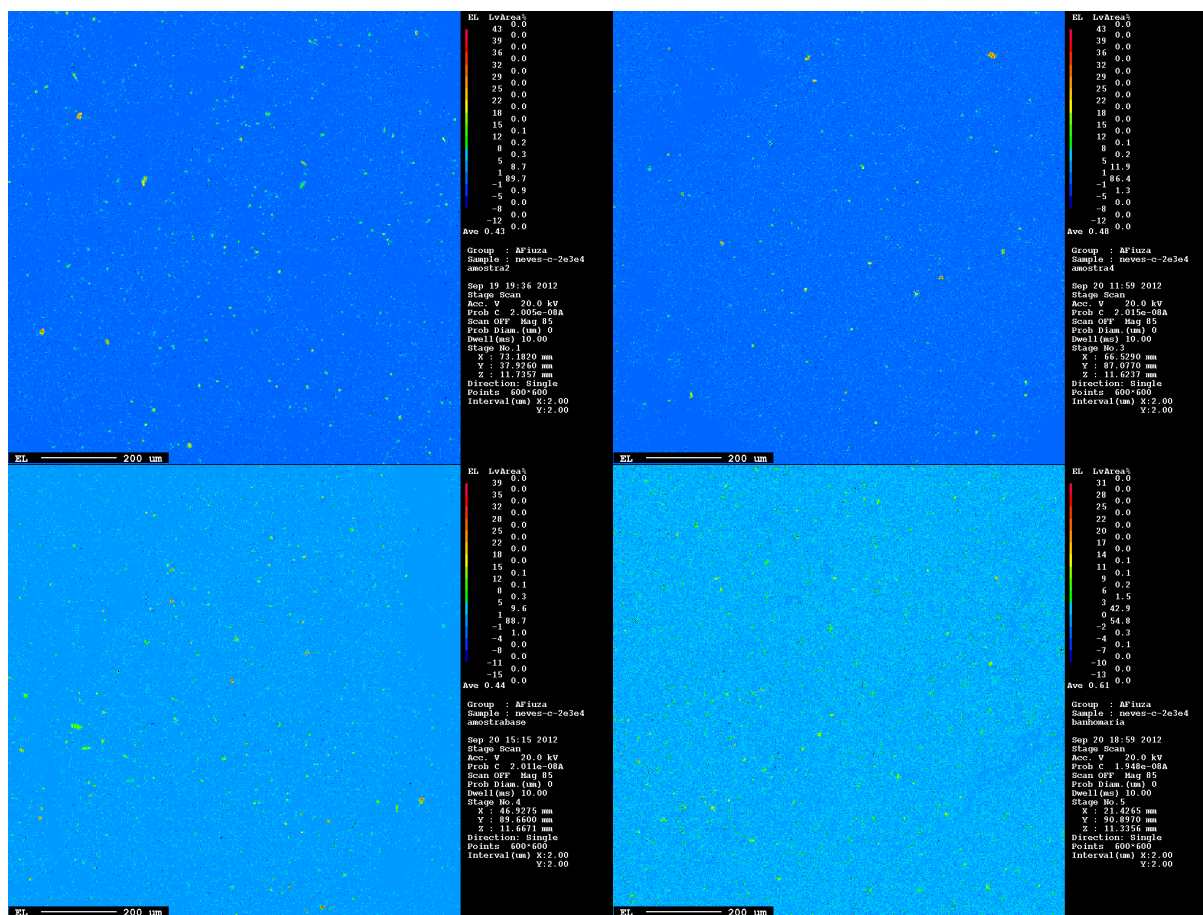


Figura 49 - Representações da distribuição e concentração de arsênio presente nas diferentes amostras. Minério original; Minério após o ensaio de lixiviação a 90°C; Minério após o ensaio de lixiviação a 70°C na base de aquecimento; Minério após o ensaio de lixiviação a 70°C em banho maria, respectivamente.

Relativamente a este elemento, como facilmente observamos na figura 49, as imagens são muito inconclusivas. Este elemento está presente com concentrações muito baixas, estando estas representadas pela cor azul. Uma vez que o fundo da imagem também é azul, torna-se impossível ter uma noção precisa da representação deste elemento nestas amostras. Assim sendo, é impossível tecer conclusões.

Por último, comparamos as amostras relativamente ao mercúrio. Infelizmente, para este elemento, só nos foram fornecidas as imagens referentes ao minério original e ao minério após o ensaio com a lixiviação a 90°C, impossibilitando a comparação entre os diferentes métodos. Não obstante, seguem-se as imagens (figura 50) da presença deste elemento no minério antes e após o ensaio de lixiviação a 90°C.

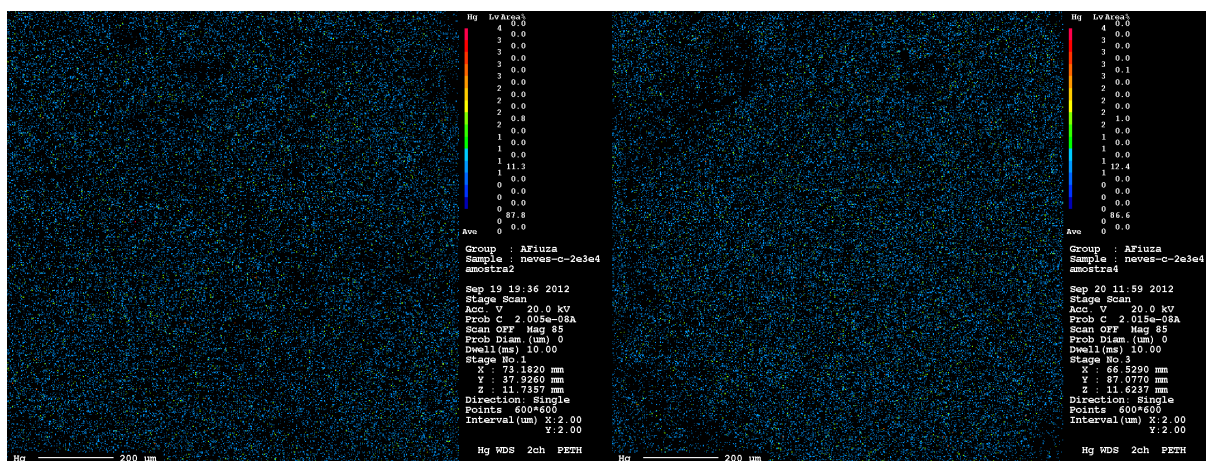


Figura 50 - Representações da distribuição e concentração de mercúrio presente nas diferentes amostras. Minério original e minério após o ensaio de lixiviação a 90°C, respetivamente.

Como já foi referido anteriormente, mapeamentos de concentrações em Hg reduzidas só são possíveis de ser obtidos para tempos de exposição longos. Assim sendo, as imagens são totalmente inconclusivas.

Contudo, pelas análises químicas referidas na tabela 20, sabemos que este elemento foi lixiviado.

6 Conclusões

6.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo desta dissertação, foram surgindo novas conclusões e teorias sempre que se efetuava uma nova experiência ou quando se olhava de novo para os resultados das mesmas. A verdade é que, de todos os ensaios realizados, nenhum deles foi suficientemente eficaz ao ponto de podermos dizer que o mercúrio se lixivia de um determinado modo específico. Contudo, podemos seguramente discutir várias hipóteses, analisando o conjunto de resultados obtidos ao fim de um semestre de trabalho.

De certo modo, podemos dizer que algum do insucesso na parte experimental, se deveu às baixas concentrações de mercúrio presente nas amostras com que trabalhamos. Olhando para as análises químicas realizadas ao material original (tabela 20), observamos que o elemento que nos propusemos a eliminar, é quase inexistente numa das amostras e na outra, a sua concentração é bastante baixa. Este facto fez com que só pudéssemos estudar uma e mesmo assim, como estávamos a trabalhar com teores muito baixos, havia pouca precisão nos resultados analíticos obtidos. Apesar de tudo, os ensaios foram realizados, as análises químicas efetuadas e foram bastantes as conclusões obtidas.

Começando pela solução de lixiviação utilizada, baseando-nos em dois ensaios nas mesmas condições operatórias (6 horas a 90°C num Erlenmeyer fechado), concluímos que a solução de NaOH e Na₂S lixivia aproximadamente 20% do mercúrio enquanto que uma solução de hipoclorito de sódio não lixivia mercúrio nenhum.

Ainda relativamente aos reagentes utilizados, constatamos que a solução de hipoclorito provoca a flutuação do sulfureto de zinco, eliminando uma percentagem significativa deste elemento do minério.

Em relação aos parâmetros de lixiviação, foram obtidas conclusões referentes à variação da temperatura, à variação do tempo de residência e à estanqueidade do reator.

No que se refere à temperatura, podemos dizer que esta influencia bastante o rendimento das lixiviações realizadas a solução de Na_2S e NaOH . Quanto a lixiviações realizadas com a solução de hipoclorito, os resultados não são tão esclarecedores contudo, dão-nos a entender que este fator, também se revela importante no rendimento das mesmas.

Para interpretar melhor os efeitos destas variações, segue-se uma tabela (tabela 71) e o respectivo gráfico (figura 51) no qual estão presentes os rendimentos para as diferentes temperaturas de lixiviação em ensaios de 6 horas com uma solução de Na_2S e NaOH .

Temperatura	η Lixiviação
70°C Base Aquecimento Reator Aberto	19,94%
70°C Banho Maria Reator Aberto	20,79%
90°C Reator Aberto	42,7%
90°C Erlenmeyer Fechado	19,1%

Tabela 71 – Valores de mercúrio lixiviado para diferentes temperaturas de lixiviação.

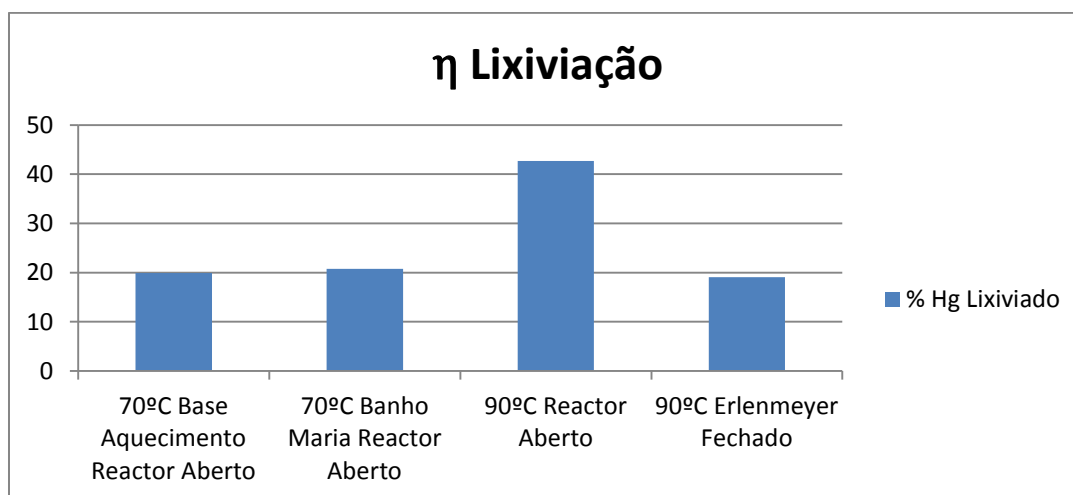


Figura 51 – Variação de mercúrio lixiviado com diferentes temperaturas de ensaio.

Como se pode observar, atendendo apenas aos ensaios que decorreram com o reator aberto, o decréscimo da temperatura dos 90°C para os 70°C representa uma diminuição do rendimento relativo em mais de 50%. Os dados são irrefutáveis pois, uma diferença tão grande de rendimentos,

não pode ser originada por erros de medição. Assim sendo, podemos afirmar que a temperatura influencia bastante o rendimento da lixiviação sendo que, quanto maior esta for, maior é o rendimento da operação.

Outra conclusão que se pode retirar da tabela e da figura é a de que a estanqueidade do reator influencia o rendimento da lixiviação.

Comparando as lixiviações efetuadas a 90°C em reator aberto e fechado, verificamos que o rendimento da lixiviação em reator aberto é bastante superior. Uma possível hipótese para a justificação para este facto poder-se-á prender com o tipo de ambiente criado no interior do reator. É sabido que a lixiviação dos sulfuretos é mais eficaz quando o ambiente é mais oxidante. Assim sendo, a introdução de oxigénio pelo orifício do reator pode estar a tornar o ambiente mais oxidante, melhorando as condições de lixiviação dos sulfuretos e consequentemente, do mercúrio.

Como foi possível verificar nos ensaios em que foram realizadas análises químicas aos licores de lixiviação, às soluções das lavagens e aos resíduos da lixiviação, o mercúrio desaparece da fase sólida mas, a quantidade removida desta fase, não se encontra nos licores sendo que a única hipótese plausível se prenda com a sua volatilização.

Pressupomos que este facto se deva à grande capacidade de volatilização do mercúrio que, facilmente escapa por qualquer orifício no reator. Ao início, questionávamo-nos sobre este acontecimento contudo, as análises químicas e as pesquisas bibliográficas confirmaram que, de facto, o mercúrio se volatiliza.

Poderíamos colocar também a questão de se estaríamos perante um caso de volatilização ou de sublimação mas, uma vez que só estamos a conseguir lixiviar mercúrio com a solução de sulfureto e hidróxido de sódio, podemos concluir que o mercúrio, tem que passar primeiro para a fase líquida e só depois é volatilizado.

Esta propriedade é boa a nível de rendimento para a lixiviação contudo, o mercúrio representa grandes riscos para o meio ambiente e para a saúde humana sendo a sua libertação para a atmosfera punível.

Quanto ao efeito da temperatura na lixiviação com hipoclorito, concluímos que a 90°C não há lixiviação de mercúrio contudo, o ensaio realizado a 30°C, revela alguma lixiviação deste elemento.

Como os valores são relativamente baixos, não podemos afirmar com toda a certeza mas, aparentemente, a redução da temperatura aumenta o rendimento da lixiviação.

Outro fator que aparenta influenciar bastante o rendimento da lixiviação é a duração da mesma. Quanto aos nossos ensaios, não temos dados sobre a solução de hipoclorito mas, para a solução de sulfureto e hidróxido de sódio, foram realizados dois ensaios.

A tabela e o gráfico que se seguem mostram os valores do rendimento das lixiviações com durações diferentes, para duas lixiviações realizadas em Erlenmeyers fechados e cujos ensaios decorreram com uma temperatura constante de 90°C.

Duração da lixiviação	% Hg lixiviado
6 horas	19,10%
12 horas	38,50%

Tabela 72 – Rendimento das lixiviações para diferentes durações.

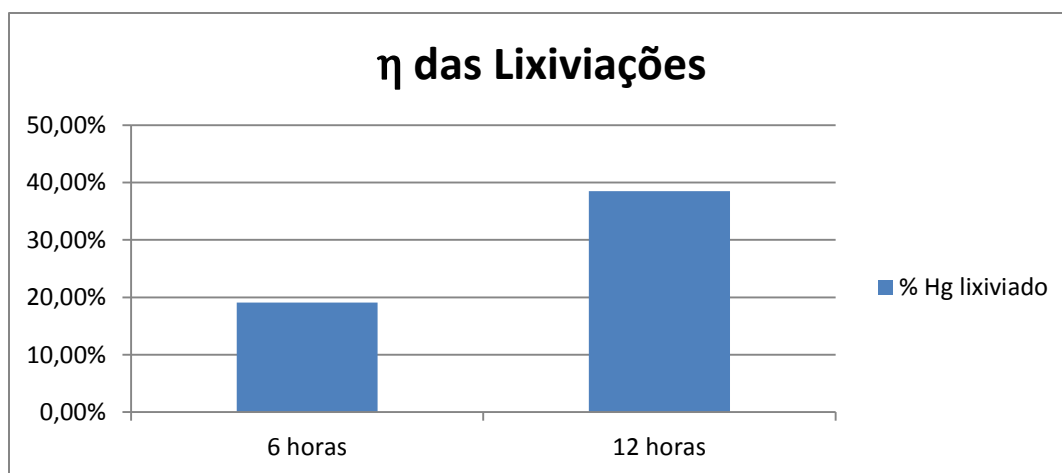


Figura 52 – Rendimento relativo ao mercúrio de lixiviações com diferentes durações.

Como é possível verificar na tabela 72 e na figura 52, a passagem de 6 horas para 12 horas de lixiviação, representa um aumento do rendimento relativo de aproximadamente 50%. Podemos assim dizer que, para a solução de Na_2S e NaOH , o aumento do tempo de lixiviação, tem como consequência o aumento do rendimento.

Relativamente às análises microscópicas, ficaram por confirmar algumas hipóteses levantadas. Isto porque, no que diz respeito às imagens, estas variam bastante na quantidade de material presente

na zona amostrada, tornando-se muito difícil tecer conclusões sólidas e de elevado grau de certeza. Contudo, estas revelaram-se interessantes para observar a composição de cada uma das amostras individualmente.

Nas análises pontuais, estamos a observar estruturas minerais sendo que, numa situação podemos estar perante um mineral e numa outra, podemos estar a observar uma estrutura completamente diferente. Isto sucedeu nesta dissertação sendo que, em certas análises deparamo-nos com blendas, noutras com tetraedrites e ainda com uma estanite.

Estas análises vieram indicar que o mercúrio presente no minério do concentrado de cobre do circuito RC, ao contrário do que se pensava inicialmente, está maioritariamente associado às tetraedrites. Contudo, não podemos fazer esta afirmação para ambos os minérios pois, não foram realizadas análises pontuais no minério do concentrado da lavaria de cobre antes de lixiviado.

6.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Devido à falta de tempo, ficaram por realizar uma série de análises e alguns testes que seriam interessantes para completar este estudo.

Uma das análises que ficou por realizar, foi a análise pontual às estruturas minerais presentes no minério do concentrado da lavaria de cobre. Este estudo teria bastante importância pois, poderíamos obter resultados capazes de explicar o baixo teor de mercúrio deste minério, assim como a justificação para a sua não lixiviação. Ficaríamos igualmente a conhecer o tipo de estruturas presentes no minério assim como as que tinham mercúrio associado.

Para complementar os ensaios sobre este minério, seria também interessante realizar mais uma ou duas análises químicas ao minério original. Isto porque, como aconteceu no minério do circuito RC, a 1ª análise, revelou valores bastante inferiores relativos ao mercúrio quando comparados com os valores obtidos na 2ª e na 3ª análise. Este facto indica uma má amostragem e homogeneização do minério.

Seria interessante realizar mais variações nos ensaios com a solução de hipoclorito de sódio, testando outras condições operatórias. Estes ensaios dever-se-iam seguir por análises microscópicas.

Ainda a nível das condições operatórias, era interessante realizar ensaios testando percentagens de sólidos bastante inferiores às que foram usadas.

Por uma questão de confirmação, seria também útil realizar uma análise química à espuma observada nos ensaios com o reagente de hipoclorito de sódio, de modo a sabermos a composição dessa espuma.

Uma vez que foi referido o caso da volatilização de mercúrio, seria bastante interessante proceder a um ensaio de remoção do mercúrio por volatilização. Utilizando na mesma um reagente para promover a passagem do mercúrio para a fase líquida da polpa, poder-se-ia depois utilizar um caudal com um gás de arrasto de modo a remover continuamente o mercúrio que se volatiliza. O gás passaria depois por um equipamento que causasse a condensação do mercúrio, sendo este recolhido e devidamente tratado. Este ensaio teria especial importância para se quantificar a o mercúrio perdido por volatilização.

Dever-se-ia também realizar um ensaio de lixiviação com introdução de oxigénio na polpa de modo a confirmar de que modo este fator influencia o rendimento da operação pois, pressupomos que a presença de oxigénio vá aumentar o rendimento do processo.

Por fim, o principal ensaio que ficou por fazer foi o ensaio de cementação do mercúrio. Este não foi realizado devido à baixa quantidade de mercúrio presente nos ensaios e devido à sua volatilização, fazendo com que a sua concentração nos licores fosse quase nula.

Este ensaio teria especial importância pois, é preciso encontrar um método para a recuperação do mercúrio depois de lixiviado. Mas, antes disso, é necessário encontrar um método de lixiviação que retenha o mercúrio em solução.

7 Bibliografia

- (s.d.). Obtido em 11 de Outubro de 2012, de Geochemical Instrumentation and Analysis:
http://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/EPMA.html
- AreaSeg.com - Site de Segurança no Trabalho. (s.d.). Obtido em 11 de Outubro de 2012, de AreaSeg:
<http://www.areaseg.com/toxicos/mercurio.html>
- C.G. Anderson and L.G.Twidwell. (2008). *THE ALKALINE SULFIDE HYDROMETALLURGICAL*.
- Emília SMINČÁKOVÁ, Ľ. K. (2007). BEHAVIOUR OF STIBNITE IN ALKALINE LEACHING. *Journal of Engineering Annals Tome V, Fascicule I*, 183 - 188.
- Energetica, M. (s.d.). *MATRIZES ENERGÉTICAS E O IMPACTO AMBIENTAL*. Obtido em 10 de Setembro de 2012, de <http://turma306fisica.blogspot.pt/2010/08/mercurio.html>
- Fiúza, A. M. (2010). *HIDROMINERALURGIA*. FEUP.
- Júnior, W. A., Palmieri, H. E., Branco, O. E., Filho, C. A., Fleming, P. M., Silva, J. B., et al. (2008). Estudos de volatilização de Hg em solo contaminado de Descoberto/MG. *31ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química*. Águas de Lindóia - SP: Sociedade Brasileira de Química (SBQ) .
- Magalhães, N. C., Junior, W. A., Silva, J. B., & Windmöller, C. C. (2009). Estudo de volatilização do Hg mediante o preparo de amostras de solo. *32ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química*. Fortaleza - CE: Sociedade Brasileira de Química (SBQ).
- Pereira, E., & Rodrigues, J. (2009). *Geologia II*. FEUP.

8 Anexos



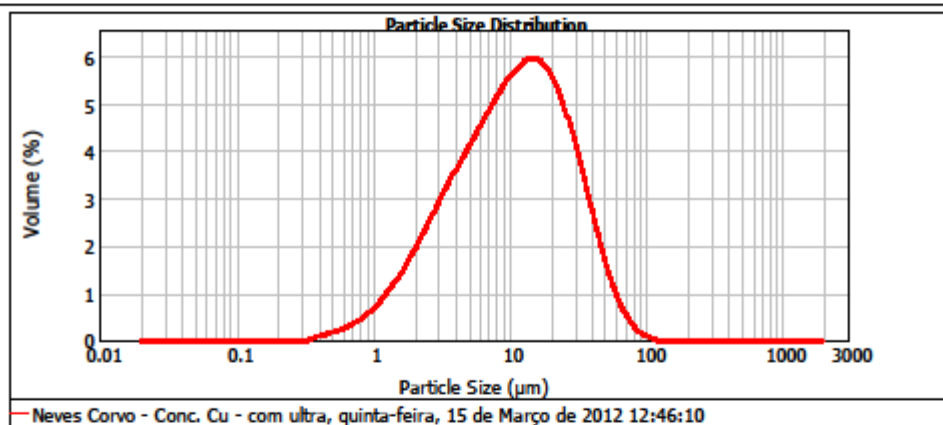
CIGAR
CENTRO DE INVESTIGAÇÃO GEO-AMBIENTAL E REC. ROR



Result Analysis Report

Sample Name: Neves Corvo - Conc. Cu - com	SOP Name:	Measured: quinta-feira, 15 de Março de 2012 12:46:10
Sample Source & type:	Measured by:	Analysed: quinta-feira, 15 de Março de 2012 12:46:12
Sample bulk lot ref:	Result Source: Measurement	
Particle Name: Zinc Sulphide	Accessory Name: Hydro 2000G (A)	Analysis model: General purpose
Particle RI: 2.360	Absorption: 0.1	Size range: 0.020 to 2000.000 μm
Dispersant Name: Water	Dispersant RI: 1.330	Weighted Residual: 0.367 %
		Sensitivity: Normal
		Obscuration: 10.99 %
		Result Emulation: Off

Concentration: 0.0078	Span : 2.902	Uniformity: 0.917	Result units: Volume
Specific Surface Area: 1.08	Surface Weighted Mean D[3,2]: 5.531 μm	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 14.977 μm	
d(0.1): 2.393 μm	d(0.5): 10.682 μm	d(0.9): 33.395 μm	



Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %
0.013	0.00	0.105	0.00	0.832	0.40	5.754	4.12	45.700	1.10	316.228	0.00	2511.886	0.00
0.015	0.00	0.120	0.00	0.955	0.85	6.807	4.30	50.000	0.50	365.078	0.00	2894.032	0.00
0.017	0.00	0.136	0.00	1.096	0.80	7.586	4.95	52.481	1.11	418.860	0.00	3311.311	0.00
0.020	0.00	0.156	0.00	1.259	0.80	8.710	4.95	60.256	0.70	478.630	0.00	3801.894	0.00
0.025	0.00	0.182	0.00	1.445	1.24	10.000	5.13	69.183	0.40	540.541	0.00	4395.158	0.00
0.028	0.00	0.209	0.00	1.660	1.50	11.482	5.30	79.433	0.21	630.957	0.00	5011.672	0.00
0.030	0.00	0.240	0.00	1.905	0.50	13.183	5.38	91.201	0.09	724.436	0.00	5754.300	0.00
0.035	0.00	0.275	0.00	2.000	1.10	15.136	5.36	104.713	0.05	831.764	0.00	6606.934	0.00
0.040	0.00	0.316	0.00	2.188	1.10	17.378	5.21	120.226	0.00	954.983	0.00	7595.778	0.00
0.046	0.00	0.363	0.00	2.512	2.07	19.953	4.94	136.038	0.00	1096.478	0.00	8700.636	0.00
0.052	0.00	0.417	0.12	2.894	2.86	22.909	4.53	156.469	0.00	1259.025	0.00	10000.000	0.00
0.060	0.00	0.479	0.18	3.311	2.98	26.305	4.02	181.970	0.00	1445.440	0.00		
0.069	0.00	0.550	0.22	3.802	3.26	30.200	3.43	208.080	0.00	1659.597	0.00		
0.079	0.00	0.631	0.29	4.365	3.98	34.674	2.80	236.883	0.00	1905.481	0.00		
0.091	0.00	0.724	0.36	5.012	3.98	39.811	2.18	275.423	0.00	2187.762	0.00		
0.105	0.00	0.832	0.36	5.754	3.84	45.700	2.18	316.228	0.00	2511.886	0.00		

Operator notes:



CIGAR

CENTRO DE INVESTIGAÇÃO GEO-AMBIENTAL E DECLAR



Result Analysis Report

Sample Name:
Neves Corvo - Conc. RC -

SOP Name:

Measured:
quinta-feira, 15 de Março de 2012 13:02:35

Sample Source & type:

Measured by:

Analysed:
quinta-feira, 15 de Março de 2012 13:02:36

Sample bulk lot ref:

Result Source:
Measurement

Particle Name:

Zinc Sulphide

Accessory Name:

Hydro 2000G (A)

Analysis model:

General purpose

Sensitivity:

Normal

Particle RI:

2.360

Absorption:

0.1

Size range:

0.020 to 2000.000 μm

Obscuration:

9.54 %

Dispersant Name:

Water

Dispersant RI:

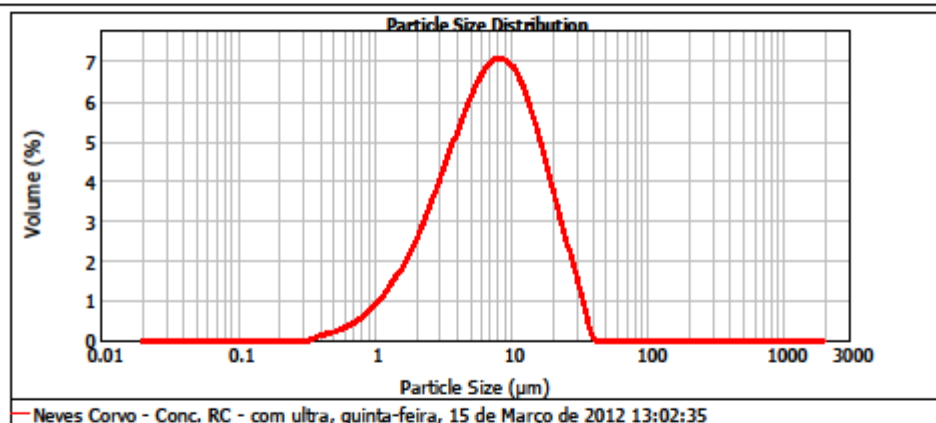
1.330

Weighted Residual:

0.603 %

Result Emulation:

Off

Concentration:
0.0053Span :
2.366Uniformity:
0.735Result units:
VolumeSpecific Surface Area:
1.37Surface Weighted Mean D[3,2]:
4.385 μm Vol. Weighted Mean D[4,3]:
9.055 μm d(0.1): 2.055 μm d(0.5): 7.104 μm d(0.9): 19.079 μm 

Size (μm)	Volume in %	Size (μm)	Volume in %	Size (μm)	Volume in %	Size (μm)	Volume in %	Size (μm)	Volume in %	Size (μm)	Volume in %	Size (μm)	Volume in %
0.013	0.00	0.105	0.00	0.832	0.02	5.754	6.04	45.700	0.00	316.228	0.00	2511.886	0.00
0.015	0.00	0.120	0.00	0.955	0.01	6.607	6.26	50.000	0.00	360.076	0.00	2884.032	0.00
0.017	0.00	0.136	0.00	1.096	0.01	7.586	6.36	52.481	0.00	416.869	0.00	3311.311	0.00
0.020	0.00	0.156	0.00	1.259	1.02	8.710	6.36	60.256	0.00	476.630	0.00	3801.864	0.00
0.023	0.00	0.182	0.00	1.445	1.26	10.000	6.33	60.193	0.00	540.541	0.00	4395.158	0.00
0.026	0.00	0.209	0.00	1.660	1.92	11.462	6.10	70.433	0.00	630.957	0.00	5011.672	0.00
0.030	0.00	0.240	0.00	1.905	0.76	13.183	5.19	81.201	0.00	724.436	0.00	5754.360	0.00
0.035	0.00	0.275	0.00	2.000	1.55	15.136	4.57	104.713	0.00	831.764	0.00	6606.024	0.00
0.040	0.00	0.316	0.00	2.188	1.55	17.378	3.88	120.226	0.00	954.003	0.00	7585.776	0.00
0.046	0.00	0.365	0.01	2.512	2.74	19.953	3.18	136.038	0.00	1096.476	0.00	8700.636	0.00
0.052	0.00	0.417	0.14	2.894	3.71	22.909	2.47	156.460	0.00	1259.025	0.00	10000.000	0.00
0.060	0.00	0.479	0.20	3.311	4.23	26.303	1.76	181.970	0.00	1445.440	0.00		
0.069	0.00	0.550	0.27	3.802	4.75	30.200	1.06	208.030	0.00	1650.597	0.00		
0.079	0.00	0.631	0.36	4.365	5.25	34.674	0.34	239.883	0.00	1905.461	0.00		
0.091	0.00	0.724	0.48	5.012	5.86	39.811	0.00	275.423	0.00	2187.762	0.00		
0.105	0.00	0.832	0.48	5.754	5.86	45.700	0.00	316.228	0.00	2511.886	0.00		

Operator notes: